



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**ENVOLTURA COMESTIBLE A BASE DE CELULOSA
MICROCRISTALINA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Tesis previa a la obtención del Título de:

Ingeniera Agroindustrial

AUTORA: Vanessa del Carmen Bastidas Flores

DIRECTORA: Dra. Lucía Yépez Vásquez, MSc.

Ibarra – Ecuador

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ENVOLTURA COMESTIBLE A BASE DE CELULOSA
MICROCRISTALINA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

APROBADA:


Dra. Lucía Yépez Vásquez MSc.
DIRECTORA DE TESIS


.....
FIRMA

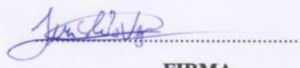
Lic. Sania Ortega
MIEMBRO DEL TRIBUNAL


.....
FIRMA

Ing. Marcelo Vacas
MIEMBRO DEL TRIBUNAL


.....
FIRMA

Ing. Juan Carlos De la Vega
MIEMBRO DEL TRIBUNAL


.....
FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100338042-3
APELLIDOS Y NOMBRES	Bastidas Flores Vanessa del Carmen
DIRECCIÓN:	Av. Fray Vacas Galindo 17-08
EMAIL:	vanebastidas93@hotmail.com
TELÉFONO MOVIL	0993428361
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	ENVOLTURA COMESTIBLE A BASE DE CELULOSA MICROCRISTALINA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
AUTORA:	Bastidas Flores Vanessa del Carmen
FECHA: AAAMMDD	2016-07-22
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA	Ingeniera Agroindustria
DIRECTORA	Dra. Lucía Yépez Vásquez, MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Bastidas Flores Vanessa del Carmen, con cédula de identidad número 100338042-3, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de Julio del 2016.

Autora:



Bastidas Flores Vanessa del Carmen

C.C. 100338042-3

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Vanessa del Carmen Bastidas Flores, con cédula de ciudadanía N° 100338042-3 bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, reading "Lucía Yépez Vázquez", is written over a horizontal line.

Dra. Lucía Yépez Vázquez, MSc.
DIRECTORA DE TESIS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Bastidas Flores Vanessa del Carmen, con cédula de identidad Nro. 100338042-3, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **ENVOLTURA COMESTIBLE A BASE DE CELULOSA MICROCRISTALINA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 22 días del mes de Julio del 2016



Bastidas Flores Vanessa del Carmen

C.C. 100338042-3

DECLARACIÓN

Manifiesto que la siguiente obra es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica Del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.



Bastidas Flores Vanessa del Carmen
C.C. 100338042-3

Agradecimiento

A la Virgen Inmaculada, por bendecirme para llegar a culminar con éxito mi carrera, por ser luz en mi vida y la fortaleza de cada día.

A mis padres Gustavo y Martha, a quienes no me alcanzaría las palabras para agradecer su entrega en la maravillosa labor de padres. Gracias por su motivación durante el desarrollo de mis estudios y siempre creer en mis capacidades. Lo que soy como persona y profesional se lo debo a ustedes.

De manera especial a la Dra. Lucía Yépez, por su predisposición constante al resolver cualquier duda, su amistad y paciencia brindada en el transcurso de este proyecto. Así como también, al Ing. Marcelo Vacas, Lic. Sania Ortega, Ing. Juan Carlos De la Vega y al Dr. José Luis Moreno por sus enseñanzas y asesoramiento en cada etapa de la elaboración de este trabajo de grado.

A mis amigas y amigos, quienes se sumaron a mi vida para hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo. Por el intercambio de saberes y por el apoyo en los buenos y malos momentos. Agradezco su valiosa amistad durante estos años y me llevo los mejores recuerdos de todo lo que vivimos juntos.

Vanessa Bastidas

Dedicatoria

A mis padres Gustavo y Martha, cuyo vivir me ha de mostrado que la fortaleza y el coraje es necesaria para aceptar las derrotas y miedos.

A mi abuelita Carmelita, por educarme con valores valiosos para mi vida e inculcarme siempre a alcanzar mis metas.

A mis familiares especialmente a mis tías, por enseñarme que la responsabilidad se la debe vivir como un compromiso de dedicación y esfuerzo. Por siempre creer en mis capacidades, gracias por su apoyo y guianza.

Vanessa Bastidas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY	xix
CAPÍTULO I.....	20
INTRODUCCIÓN	20
1.1 Problema.....	20
1.2 Justificación	21
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 Hipótesis	22
1.4.1 Hipótesis Nula	22
1.4.2 Hipótesis Alternativa	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Residuos Agroindustriales.....	23
2.1.1 Bagazo de caña de azúcar	24
2.2 Celulosa	26
2.2.1 Hidrólisis de la celulosa.....	28
2.2.2 Derivados de la celulosa	29
2.3 Celulosa microcristalina	29
2.3.1 Obtención de celulosa microcristalina.....	30
2.3.2 Características de la celulosa microcristalina	31
2.4 Generalidades de las películas y envolturas comestibles	32
2.5 Películas comestibles	33
2.6 Composición de las películas	35

2.6.1 Hidrocoloides	37
2.6.2 Lípidos	38
2.6.3 Películas con compuestos mixtos	39
2.6.4 Aditivos.....	39
2.7 Propiedades de las películas	41
2.7.1 Propiedades mecánicas de las películas comestibles de polisacárido ..	42
2.7.2 Propiedades de barrera al vapor de agua	43
2.7.3 Solubilidad en agua	43
2.7.4 Color	44
2.8 Características de las envolturas comestibles	44
2.9 Características de las envolturas sintéticas	45
CAPÍTULO III	47
MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.1 Caracterización del área de estudio.....	47
3.1.1 Ubicación	47
3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas	48
3.2.1 Materia prima e insumos.....	48
3.2.2 Reactivos.....	48
3.2.3 Materiales de laboratorio	48
3.2.4 Equipos	49
3.3 Métodos	49
3.3.1 Factores en estudio	50
3.3.2 Tratamientos.....	50
3.3.3 Diseño de la investigación	52
3.3.4 Características del Experimento.....	53
3.3.5 Unidad experimental.....	53
3.3.6 Análisis de varianza.....	53
3.3.7 Análisis funcional.....	54
3.4 Manejo Específico del Experimento	54
3.4.1 Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de caña de azúcar.....	54

3.4.1.1 Manejo específico del proceso para la obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de caña de azúcar	55
3.4.1.2 Descripción del proceso para la obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de caña de azúcar	56
3.4.2 Obtención de envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina	60
3.4.2.1 Manejo específico del proceso para la obtención de envolturas comestibles de celulosa microcristalina	61
3.4.2.2 Descripción del proceso para la obtención de envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina	63
3.5 Variables evaluadas.....	66
3.5.1 Variables cuantitativas	66
3.5.2 Variables cualitativas	68
CAPÍTULO IV	71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1 Caracterización de la celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar .	71
4.1.1 Balance de materiales la celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar.....	73
4.1.2 Costos de producción de la celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar	74
4.2 Análisis estadístico de las variables cuantitativas de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar	75
4.2.1 Análisis de las propiedades mecánicas	75
4.2.1.1 Resistencia a la tracción.....	75
4.2.1.2 Elongación a la ruptura	79
4.2.2 Análisis del grado de transmisión de vapor de agua	84
4.2.3 Análisis de solubilidad en agua.....	88
4.2.4 Análisis de color	92
4.3 Análisis de las variables cualitativas de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar	95
4.3.1 Análisis microscópico.....	95
4.3.2 Análisis microbiológico del producto terminado	97
4.3.3 Análisis organoléptico del producto terminado	98
4.3.1 Análisis fisicoquímicos.....	103

4.4 Balance de materiales para los dos mejores tratamientos de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar.....	104
4.3.1 Balance de materiales para el tratamiento 10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina)	104
4.3.2 Balance de materiales para el tratamiento 6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina)	105
4.5 Costos de producción para los dos mejores tratamientos de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar.....	106
4.5.1 Costos de producción para T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina).....	106
4.5.2 Costos de producción para T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina)	107
CAPÍTULO V	109
CONCLUSIONES	109
CAPÍTULO VI	112
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición media y desviación estándar de residuos agrícolas lignocelulósicos	24
Tabla 2: Criterios específicos de pureza de la celulosa microcristalina	31
Tabla 3: Tratamientos en estudio para evaluar el efecto de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano en la obtención de una envoltura comestible	51
Tabla 4: Descripción de los tratamientos en estudio para evaluar el efecto de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano en la obtención de una envoltura comestible	52
Tabla 5: esquema del análisis de varianza para la evaluación de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y cantidad aceite de orégano	53
Tabla 6: Variables cuantitativas del bagazo de caña de azúcar	71
Tabla 7: Variables cuantitativas y cualitativas de la celulosa microcristalina	72
Tabla 8: Datos de resistencia a la tracción	75
Tabla 9: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable resistencia a la tracción	76
Tabla 10: Prueba de TUKEY al 5% para la resistencia a la tracción	77
Tabla 11: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor A (tipo de plastificante)	78
Tabla 12: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor B (cantidad de plastificante)	78
Tabla 13: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor C (cantidad de aceite de orégano)	78
Tabla 14: Datos de elongación a la ruptura	80
Tabla 15: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable elongación a la ruptura	80
Tabla 16: Prueba de TUKEY al 5% para el porcentaje de elongación a la ruptura	81
Tabla 17: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor B (cantidad de plastificante)	82

Tabla 18: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor C (cantidad de aceite de orégano)	82
Tabla 19: Descripción de los 5 mejores tratamientos	84
Tabla 20: Datos del grado de transmisión de vapor de agua.....	85
Tabla 21: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable grado de transmisión de vapor de agua.....	85
Tabla 22: Prueba de TUKEY al 5% para el grado de transmisión de vapor de agua	86
Tabla 23: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor A (tipo de plastificante)	87
Tabla 24: Datos del porcentaje de solubilidad en el agua.....	88
Tabla 25: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable solubilidad en el agua	89
Tabla 26: Prueba de TUKEY al 5% para la variable solubilidad en el agua	90
Tabla 27: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor A (tipo de plastificante)	90
Tabla 28: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor B (cantidad de plastificante)	91
Tabla 29: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor C (cantidad de aceite de orégano)	91
Tabla 30: Datos de diferencia de color	92
Tabla 31: Análisis microbiológico.....	98
Tabla 32: Análisis de FRIEDMAN para las variables de la evaluación sensorial	102
Tabla 33: Análisis físico – químico para los dos mejores tratamientos.....	103

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1: Constituyentes lignocelulósicos.....	26
Gráfico 2: Composición de las microfibras de celulosa	27
Gráfico 3: Hidrólisis ácida de la celulosa	28
Gráfico 4: Microscopia electrónica de barrido de partículas de celulosa microcristalina	29
Gráfico 5 : Procesamiento de celulosa microcristalina.....	30
Gráfico 6: Transferencias que pueden ser controladas por cubiertas comestibles	33
Gráfico 7: Algunos materiales biodegradables utilizados en la composición de películas.....	36
Gráfico 8: Celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar	73
Gráfico 9: Representación de la resistencia a la tracción.....	79
Gráfico 10: Representación del porcentaje de elongación a la ruptura	83
Gráfico 11: Representación del grado de transmisión de vapor de agua.....	87
Gráfico 12: Representación de la solubilidad en el agua	91
Gráfico 13: Micrografías de la superficie de la formulación 4 obtenidas a través de microscopio óptico a un aumento de 4 x (a) y 10 x (b)	97
Gráfico 14: Promedio de la variable color	99
Gráfico 15: Promedio de la variable aspecto.....	99
Gráfico 16: Promedio de la variable olor	100
Gráfico 17: Promedio de la variable sabor.....	101
Gráfico 18: Promedio de la variable solubilidad en la boca	102

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I: Determinación porcentual de celulosa (P.J. Van Soest, 1994)	119
Anexo II: Contenido de alfa celulosa (NORMA TAPPI T 203 m-58)	120
Anexo III: Contenido de lignina (NORMA TAPPI T 13 os-54).....	121
Anexo IV: Determinación del grado de transmisión de vapor de Agua (TVA)..	122
Anexo V: Calculo de la solubilidad en agua	128
Anexo VI: Diferencias de color usando Coordenadas CIE L*a*b*	129
Anexo VII: Hoja de encuesta para la evaluación sensorial de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar.....	130
Anexo VIII: Análisis fisicoquímico de la celulosa microcristalina obtenida del gabazo de caña de azúcar	132
Anexo IX: Análisis microbiológico de los 5 mejores tratamientos.....	133
Anexo X: Calificaciones la evaluación sensorial de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar.....	134
Anexo XI: Análisis fisicoquímico de los 2 mejores tratamientos	139
Anexo XII: Ficha técnica de gelatina sin sabor GEL'HADA	140
Anexo XIII: Glosario de abreviaturas.....	141

RESUMEN

El bagazo constituye el mayor residuo generado en el procesamiento agroindustrial de la caña para la obtención de azúcar, por lo tanto, en esta investigación se plantea utilizar este subproducto de la industria azucarera para desarrollar una tecnología para la obtención de envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar. La metodología empleada en el proceso buscó modificar químicamente el bagazo de caña de azúcar por hidrólisis ácida hasta obtener celulosa microcristalina, la cual, se utilizó como materia prima para la investigación. Se obtuvieron las envolturas mediante el método de casting, proceso mediante el cual la solución de la película es vertida en moldes de plástico en los que se evapora el solvente utilizado. En la fase del diseño experimental, se empleó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A x B x C donde: A (cantidad de plastificante), B (tipo de plastificante, glucosa líquida o glicerol), C (cantidad de aceite de orégano) y como variables las propiedades mecánicas (tensión máxima y elongación de ruptura), de barrera, solubilidad y color para todos los tratamientos; a partir de los cuales, se seleccionó los 5 mejores tratamientos para realizar análisis microbiológicos, fisicoquímicos y organolépticos (color, aspecto, olor y solubilidad en la boca). Del análisis de resultados, se determinó que los parámetros óptimos para obtener envolturas a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar fueron T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) por poseer las mejores características mecánicas, fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas.

SUMMARY

The bagasse constitutes the biggest residual generated in the in the industrial processing of the cane for the obtaining of sugar, therefore, in this investigation purpose about to use this by-product of the sugar industry to develop a technology for the obtaining of edible coatings based on microcrystalline cellulose from sugar cane bagasse. The methodology used in the process looked for to modify the trash of bagasse of sugar chemically of the sugar cane bagasse by acid hydrolysis was performed until obtain microcrystalline cellulose, which was used as raw material for research. The wrappings were obtained by casting method, by which process the solution of the film is poured into plastic molds where the solvent was evaporated. At the stage of experimental design, a Completely Randomized Design was used with factorial arrangement $A \times B \times C$ where: A (amount of plasticizer), B (type of plasticizer, liquid glucose or glycerol), C (amount of oil of oregano) and as variables the mechanical properties (maximum stress and break elongation), of barrier, solubility and color for all treatments; from which, the top 5 treatments were selected to perform microbiological, physiochemical and organoleptic analysis (color, appearance, odor and solubility in the mouth). From analysis of results, it is concluded that optimal parameters to get bagasse sugarcane microcrystalline cellulose wraps are: T6 (40% liquid glucose, 10% oil of oregano, 10% gelatin, 40% cellulose microcrystalline) for having the best mechanical, physicochemical, nutritional and organoleptic characteristics.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

El Ecuador posee diversas fuentes de fibra vegetal, siendo una de las más numerosas la que se encuentra como constituyente de la caña de azúcar, que luego de la cosecha y aprovechamiento para la obtención de azúcar, pasa a ser un residuo de limitada utilidad para la industria. El área cultivada de caña en el país según el CINCAE en 2013 es cerca de 110.000 Has, de las cuales 74100 Has están destinadas a la obtención de azúcar, con una producción de 5'086.970 t de caña de las cuales, se produce 10'530.868 sacos de 50kg de azúcar y se obtiene como subproductos 1'300.000 t de bagazo, 140.000 t de cachaza y 510.000 m³ de melaza.

El uso de embalajes sintéticos desde hace 40 años atrás, debido a su bajo costo y rentable fabricación, han provocado serios problemas ambientales por no ser biodegradables, afectando notoriamente al ecosistema. Así por ejemplo, los plásticos utilizados para el empaque de alimentos, se fabrican a partir de derivados del petróleo que son altamente contaminantes para el ambiente (Hachi & Rodríguez, 2010).

Hoy en día, el desarrollo tecnológico acelerado y el crecimiento demográfico descontrolado generan alteraciones en el equilibrio del medio ambiente producido por el inadecuado manejo de los residuos a nivel industrial, como es el caso de los ingenios azucareros que existe una elevada cantidad de bagazo de caña de azúcar que es desechado o utilizado como fuente de producción de energía; como también, al uso excesivo de materiales no biodegradables en el empaque de alimentos que generan como consecuencia problemas medioambientales.

1.2 Justificación

La preocupación por el aprovechamiento de los residuos ha tomado importancia a nivel mundial en los últimos años, principalmente en el sector industrial donde los procesos de transformación generan residuos que pueden ser utilizados para la obtención de nuevos productos; no obstante, debido al desconocimiento del valor de estos subproductos y a la falta de procesos tecnológicos que permitan el desarrollo de nuevas actividades, aún no han sido empleados eficientemente para ser usados en la elaboración de productos con valor agregado (Gonzales, 2013).

El uso de películas biodegradables está tomando importancia entre los consumidores, debido a que en la actualidad, las personas se interesan cada día de su salud y la conservación del medio ambiente. Hoy en día el estilo de vida de los seres humanos ha cambiado, en la misma medida que ha aumentado la demanda de productos alimenticios enriquecidos y de envases reciclables, biodegradables o comestibles, que no sean derivados de petroquímicos (Rojas, 2010). El propósito fundamental de films comestibles, es el de sustituir los envases elaborados con materiales sintéticos, por envases completamente biodegradables que no afecten al medio ambiente y sean utilizados para alargar la vida útil del producto.

El desarrollo agroindustrial del país exige la implementación de alternativas sustentables que conlleven a generar procesos tecnológicos para el aprovechamiento de subproductos de la industria azucarera, utilizándolos en la elaboración de productos con elevada rentabilidad y sin costo medioambiental. Por lo tanto, este trabajo pretende desarrollar una tecnología para la obtención de una envoltura comestible a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Obtener una envoltura comestible a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar mediante análisis fisicoquímicos la celulosa microcristalina obtenida del bagazo de caña de azúcar.
- Evaluar el efecto de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol), y la cantidad de aceite de orégano en la obtención de una envoltura comestible a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar.
- Evaluar las propiedades mecánicas (tensión máxima y elongación de ruptura), de barrera, solubilidad y color de la envoltura.
- Evaluar las características organolépticas, microbiológicas y fisicoquímicas (mejor tratamiento) para determinar la calidad de las envolturas comestibles de celulosa microcristalina.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis Nula

- La cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano NO INFLUYE en las propiedades mecánicas, de barrera, solubilidad y color de la envoltura comestible a base de celulosa microcristalina obtenida del bagazo de caña de azúcar.

1.4.2 Hipótesis Alternativa

- La cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano INFLUYE en las propiedades mecánicas, de barrera, solubilidad y color de la envoltura comestible a base de celulosa microcristalina obtenida del bagazo de caña de azúcar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Residuos Agroindustriales

Los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social (Saval, 2012).

La elevada cantidad de residuos orgánicos producidos por las industrias, se ha convertido en una de las problemáticas ambientales que más prevalece a nivel mundial; principalmente por la inexistente conciencia medioambiental para su manejo, así como también la falta de recursos tecnológicos y económicos, que permitan un plan de gestión de desechos adecuado o darles valor agregado como subproducto.

Según Kalia (2011) estos remanentes son producidos en millones de toneladas alrededor del mundo y representan una fuente de biomasa lignocelulósica abundante, barata y de fácil acceso. De estas enormes cantidades de residuos agrícolas, solamente una pequeña cantidad es empleada como alimento animal o combustible para hogares y una mayor porción es quemada en los campos creando un problema de contaminación ambiental.

Tabla 1: Composición media y desviación estándar de residuos agrícolas lignocelulósicos

Componentes (%)	Residuos Agrícolas					
	Paja de cebada	Paja de trigo	Caña de Maíz	Rastrojo lenteja	Bagazo de caña	Cascarilla de arroz
Humedad	13,81 (1,88)	13,31 (0,09)	10,11 (0,22)	13,61 (0,09)	13,91 (0,13)	9,12 (0,00)
Cenizas	9,75 (0,51)	10,64 (0,34)	5,98 (0,11)	5,44 (0,00)	2,57 (0,15)	13,59 (0,08)
Extracto Etéreo	1,27 (0,10)	1,34 (0,46)	1,15 (0,09)	1,07 (0,03)	0,67 (0,01)	0,30 (0,00)
Nitrógeno	0,84 (0,00)	0,46 (0,05)	0,38 (0,04)	1,29 (0,01)	1,10 (0,00)	0,77 (0,00)
Fibra	51,89 (1,70)	57,77 (0,50)	48,15 (1,63)	53,08 (0,89)	47,37 (0,00)	47,57 (0,63)
Celulosa	47,14 (1,02)	52,11 (0,51)	42,48 (0,24)	40,32 (0,99)	44,87 (0,66)	36,53 (1,69)
Lignina	10,53 (0,96)	10,68 (0,21)	7,02 (0,04)	16,12 (0,03)	14,40 (0,10)	22,53 (0,30)
Hemicelulosa	21,35 (0,99)	20,09 (0,31)	26,73 (0,30)	10,27 (2,10)	16,99 (0,45)	18,41 (2,47)

Fuente: Ruilova Cueva & Hernández Monzón, 2014

Entre los residuos lignocelulósicos que se puede encontrar en las cosechas agrícolas del Ecuador predominan el bagazo de caña, la paja de cebada y trigo con mayores porcentajes de celulosa, la cual es escasamente aprovechada como subproducto de estos desechos agroindustriales.

2.1.1 Bagazo de caña de azúcar

La caña de azúcar es el cultivo con mayor producción en el mundo, según la FAO en 2010 se produjeron mil setecientos millones de toneladas; de acuerdo con ello la producción estimada de dicho residuo a nivel mundial alcanzó la cifra de 480 millones toneladas. El residuo de la cosecha de la caña de azúcar está constituido

por ramas, hojas y parte de los tallos que no son utilizados en el proceso de extracción de azúcar. Otro de los residuos que también se genera en el proceso industrial es el bagazo, material procedente de la molienda de los tallos de caña después de ser extraído el jugo (Red Española de Compostaje, 2015).

El bagazo constituye el mayor residuo generado en el procesamiento agroindustrial de la caña para la obtención de azúcar. Este desecho suele ser quemado provocando graves consecuencias medioambientales producidas por los altos niveles de dióxido de carbono que genera su combustión; así como también puede llegar afectar a la salud humana cuando existen núcleos de producción cercanos a las zonas de producción.

La obtención de pulpa y papel a partir de bagazo constituye una alternativa ecológica de empleo de este residuo de la producción de azúcar y que representa el 75% del bagazo industrializado en el mundo, cuyas posibilidades de producción se dirigen hacia la obtención de papel de imprenta y escribir, cartulina, cartón, pañales infantiles y almohadillas sanitarias; lo que constituye una alternativa ventajosa para el empleo del bagazo excedente de la producción de azúcar (Castells, 2012).

Componentes de la materia lignocelulósica

Evidentemente celulosa, hemicelulosas y lignina son los principales constituyentes de la pared celular de fibras de plantas. La morfología de fibras depende principalmente de la composición y la organización estructural de estos constituyentes. Sin embargo contiene compuestos minoritarios no poliméricos que pueden ser de vital importancia para los procesos fisiológicos de la célula. La cantidad y el tipo de estos compuestos pueden influir mucho en procesos industriales (Prinsen, 2010).

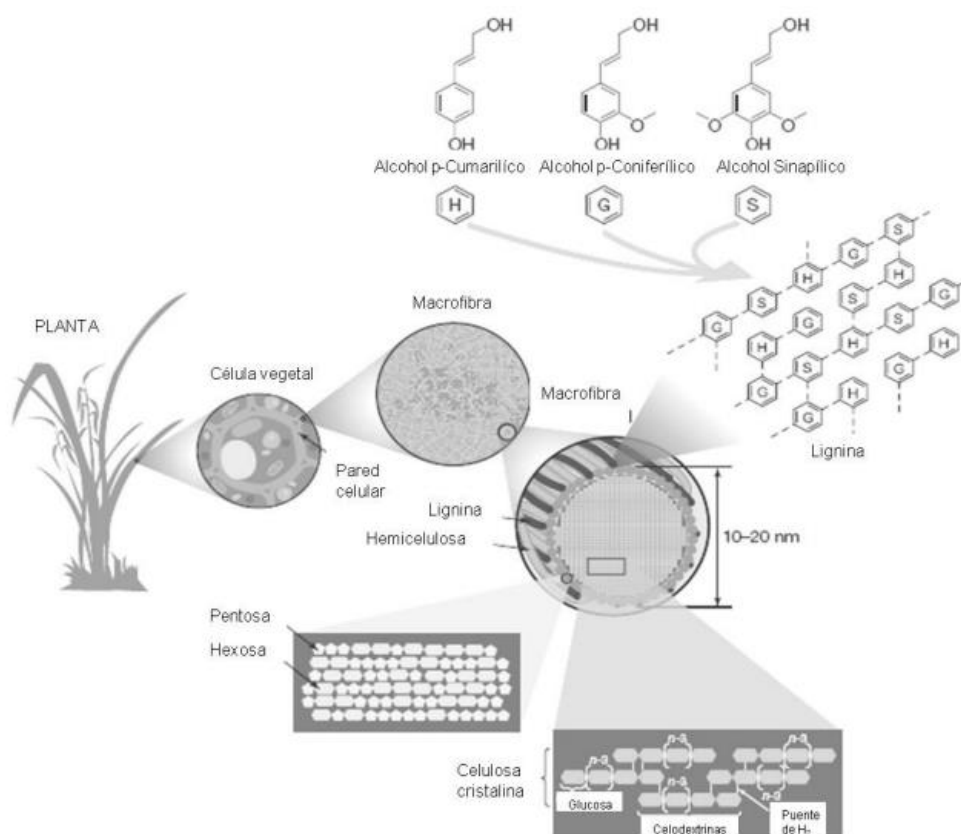


Gráfico 1: Constituyentes lignocelulósicos

Fuente: Rubin, 2008

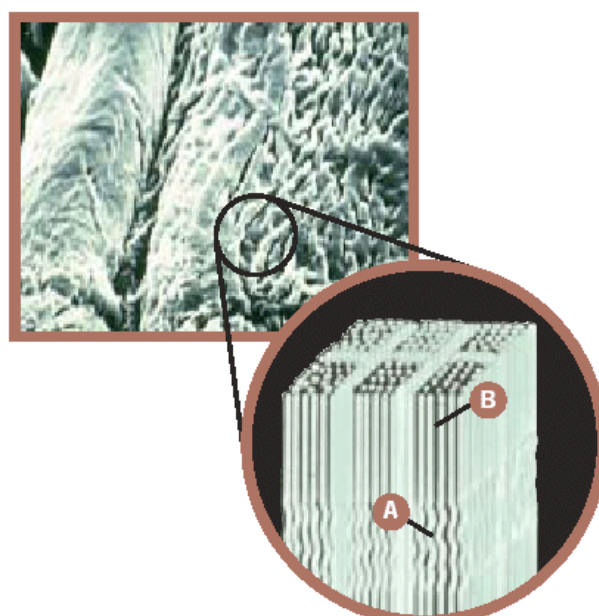
2.2 Celulosa

Celulosa es el biopolímero más abundante en la Tierra. Consiste en cadenas lineales de celobiosa (D-glucopiranosil- β -1,4-D-glucopiranososa) de aproximadamente 10.000 unidades glicosídicas en celulosa nativa de fibras madereras donde representan más de 50 % del peso. En la célula vegetal gran parte de la celulosa está presente como microfibrillas empaquetadas muy densamente. Poco se conoce sobre la regulación de este plegamiento. Contiene zonas amorfas y cristalinas. Las cadenas en la zona amorfa son susceptibles a bioconversión (celulasas) (Prinsen, 2010).

El mayor constituyente de los organismos vegetales es la celulosa, formando parte de su estructura mecánica en forma de fibras; gracias a su estructura y

características únicas, ha sido utilizada por varios milenios en la forma de papel, algodón, lino u otras fibras y, en los últimos años para la creación de nuevos materiales.

Según Zugenmaier (2008) el conocimiento que se tiene de la composición química de la celulosa es reciente, aunque se ha utilizado por varios milenios en la forma de algodón, lino y otras fibras textiles, o en la forma de madera para la construcción y papel. Fue el botánico francés Anselm Payen quien la aisló de plantas como residuo de intensas extracciones con álcali y acuñó su nombre. Además encontró que contenía entre 43,6 y 45% de Carbono, entre 6 y 6,5% de Hidrógeno y que el resto era Oxígeno. Teóricamente tiene 44,4% de Carbono y 6,2% de Hidrógeno.



A: región paracristalina, una masa amorfa flexible de las cadenas de celulosa, y
B: región cristalina, que se compone de haces de microfibrillas herméticamente unidas en una disposición lineal rígido.

Gráfico 2: Composición de las microfibras de celulosa

Fuente: FMC, 2015

Una característica importante del arreglo cristalino es que los componentes moleculares de las fibrillas individuales están empacados muy rígidamente de

manera que previene la penetración de enzimas, y también de moléculas pequeñas como el agua. Mientras que la región desordenada permite la desintegración de la Celulosa por hidrólisis a pequeñas partículas usando una solución acuosa de ácido fuerte (Zugenmaier, 2008).

2.2.1 Hidrólisis de la celulosa

Las regiones amorfas en las cadenas de celulosa son más susceptibles a la hidrólisis ácida, de manera que en estas secciones se facilita la ruptura de los enlaces glucosídicos, liberando los cristales individuales. Ácidos como el Sulfúrico y Clorhídrico son utilizados frecuentemente para la preparación de celulosa microcristalina (Carchi, 2014).

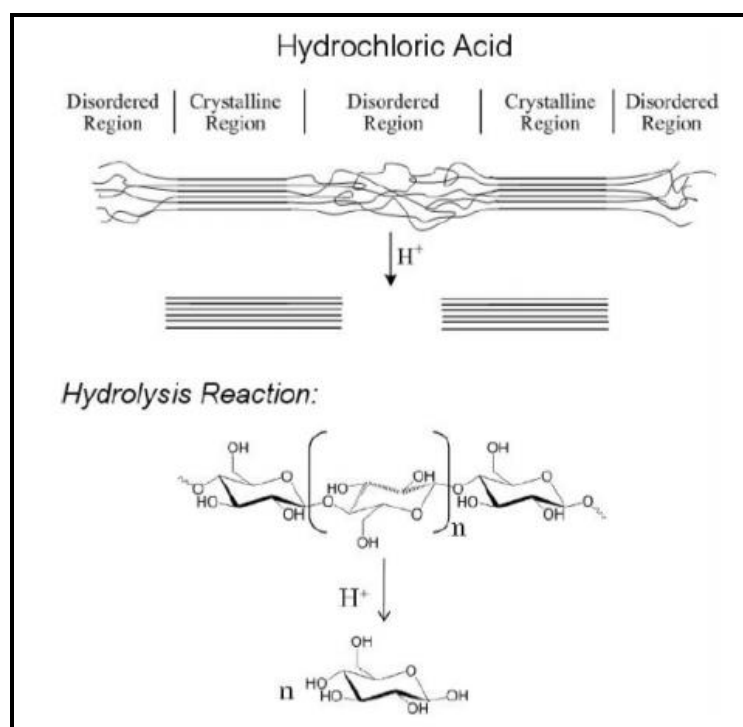


Gráfico 3: Hidrólisis ácida de la celulosa

Fuente: Ureña, 2011

2.2.2 Derivados de la celulosa

Los derivados de la celulosa son considerados buenos agentes formadores de películas debido a su estructura lineal. Generalmente las películas son sólidas y resistentes a los aceites y a la mayoría de los solventes orgánicos no polares. Se emplean para controlar la difusión de O₂ y CO₂, a fin de retrasar el proceso de maduración en frutas y vegetales (Parzanese, 2010).

2.3 Celulosa microcristalina

La celulosa microcristalina es un derivado del alfacelulosa depolimerizada y purificada obtenido a partir de plantas fibrosas, entre ellas la caña de azúcar. Es un producto blanco, inodoro, libre de contaminantes orgánicos e inorgánicos, con un contenido no menor al 97 % de celulosa, calculada sobre base seca. Entre sus usos principales figuran la fabricación de cremas y suspensiones sólidas para cosméticos, detergentes y como estabilizador en la elaboración de helados. Tiene gran aplicación en la industria farmacéutica para la preparación de comprimidos, píldoras y cápsulas como agente de compresión (Barzaga et al., 2004).

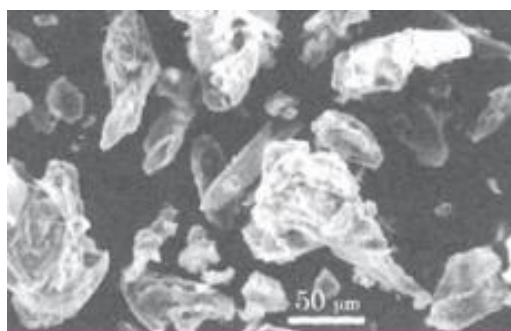


Gráfico 4: Microscopia electrónica de barrido de partículas de celulosa microcristalina

Fuente: SUMINISTROS, 2010

La celulosa microcristalina es una forma no fibrosa de la celulosa en la que la pared celular de la fibra ha sido descompuesta en fragmentos de tamaños que varían de decenas a algunas centenas de micras. La celulosa microcristalina solamente se diferencia por la forma física, de la celulosa natural. La celulosa en fibras se convierte en la celulosa en partículas. En estudios sobre la alimentación

humanan y animal se demostró la inocuidad de la celulosa microcristalina en forma de polvos y geles. La celulosa microcristalina el igual que la celulosa fibra, no es digerida por el organismo, (Sharapin, 2000).

Este derivado de la celulosa obtenida de la madera se puede encontrar fácilmente en el mercado y a bajo costo, ya que es ampliamente utilizado en la industria alimentaria como estabilizante y en la farmacéutica para el encapsulamiento de medicamentos.

2.3.1 Obtención de celulosa microcristalina

Según Ferrer (2013) un procedimiento típico aplicado para la producción de microcelulosa consiste en remover los constituyentes asociados a la celulosa por tratamientos químicos, así la celulosa purificada es sometida a hidrólisis con un ácido fuerte bajo condiciones controladas, seguido de una dilución en agua y sucesivos lavados usando centrifugación para remover el ácido libre. Se suele considerar una etapa de tratamiento con ultrasonido para separar los sólidos agregados. Finalmente se obtiene una suspensión coloidal estable.

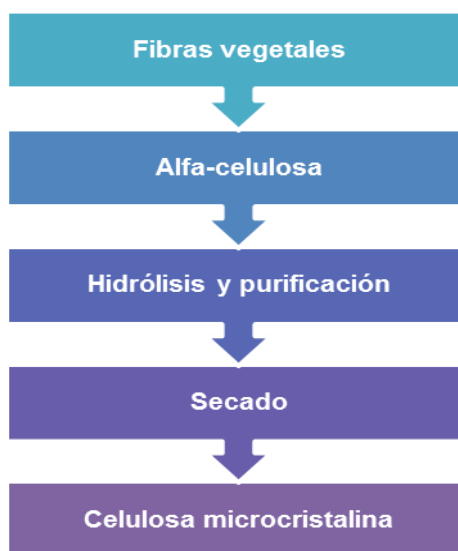


Gráfico 5 : Procesamiento de celulosa microcristalina

Fuente: FMC, 2015

A escala industrial, la celulosa microcristalina se obtiene mediante la hidrólisis de la madera y del algodón de celulosa, utilizando ácidos minerales diluidos. Otras fuentes potenciales de celulosa son: cáscaras de coco, bagazo de caña de azúcar, ramio, paja de trigo, arroz, yute, lino, fibras de lino y de cáscara de soja; esta variedad explica que las propiedades del producto sean diferentes en cuanto a cristalinidad, contenido de humedad, superficie porosa, peso molecular, entre otras. La producción de MCC a partir de fibras naturales se realiza mediante tratamientos químicos que involucran álcalis y/o bisulfitos para separar la lignina y extraer la hemicelulosa. Cada método tiene sus ventajas y desventajas respecto a la cantidad, pureza y propiedades de la celulosa obtenida (Viloria et al., 2014).

2.3.2 Características de la celulosa microcristalina

Tabla 2: Criterios específicos de pureza de la celulosa microcristalina

Sinónimo	Gel de celulosa
Definición	La celulosa microcristalina es celulosa purificada, parcialmente despolimerizada, que se prepara tratando con ácidos minerales la α -celulosa obtenida en forma de pulpa a partir de cepas naturales de vegetales fibrosos.
Denominación química	Celulosa
Fórmula química	$(C_6H_{10}O_5)_{12}$
Peso molecular	Aproximadamente 36000
Determinación	Contenido no menos de 97% de celulosa calculado en cantidad anhidra
Descripción	Polvo fino y blanco o casi blanco, inodoro
Solubilidad	Insoluble en agua, éter, etanol y ácidos minerales diluidos
Tamaño de partículas	No más de 5 μm

Fuente: Barros, 2009

Esta celulosa microcristalina proveniente principalmente de las fibras de algodón, puede ser considerada como una fuente de fibra insoluble para enriquecer ciertos

alimentos y, al no ser digerible, esta no es absorbida por en el torrente sanguíneo, con lo cual no puede causar toxicidad al ser consumida.

2.4 Generalidades de las películas y envolturas comestibles

El uso de envolturas comestibles como protección para los alimentos es una práctica comúnmente utilizada desde tiempos antiguos, principalmente en productos de alta perecibilidad como frutas mediante recubrimientos con cera o trozos de carne utilizando grasa. Las envolturas consideradas comestibles son aquellas que forman parte integrante del alimento y como tal son consumidas; como por ejemplo, la corteza del pan que constituye una capa protectora formada durante su cocción. Estos revestimientos al cumplir las funciones de embalaje y como parte integrante del alimento, deben cumplir con todas las condiciones y normas para ser considerados un producto seguro y de calidad (Demuner y Guzmán, 2004).

Las películas preformadas flexibles, que brindan la posibilidad de ser consumidas conjuntamente con el alimento, se están transformando en un reemplazo tecnológicamente útil de los empaques sintéticos y están ofreciendo una opción innovadora para la industria alimentaria; como por ejemplo, su aplicación a alimentos para aumentar su vida útil y mejorar sus atributos nutricionales y organolépticos, por medio de la incorporación de componentes activos a la composición de los films comestibles.

Las películas biodegradables pueden contribuir a reducir la polución pudiendo utilizar recursos renovables como el almidón o residuos de origen agroindustrial o de la pesca. Si bien se considera que las películas biodegradables no puedan reemplazar totalmente a los envases sintéticos, tienen posibilidad de ser utilizados en ciertas aplicaciones. Existe una tendencia creciente a desarrollar películas activas con propiedades adicionales a las tradicionales de embalaje a partir de biopolímeros (Zaritzky, 2009).

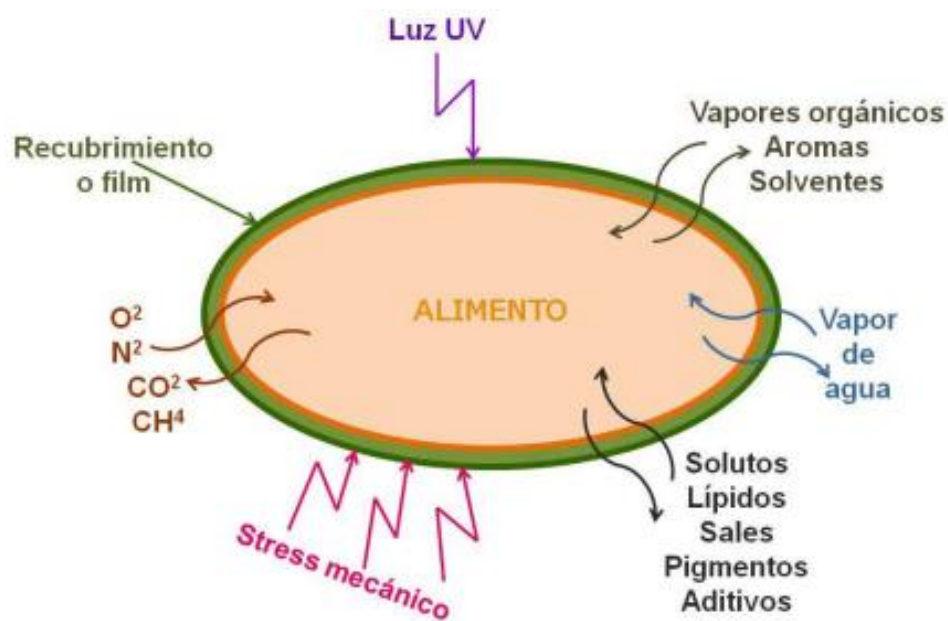


Gráfico 6: Transferencias que pueden ser controladas por cubiertas comestibles

Fuente: Parzanese, 2010

En la industria alimentaria uno de los principales objetivos es incrementar la calidad y conservación de los alimentos durante su procesado y almacenado, para lo cual ha ido floreciendo la tecnología de los recubrimientos comestibles como alternativa para cumplir con los requerimientos que la industria requiere. Es importante mencionar que para la formulación de las envolturas se emplean materias primas de origen natural, totalmente biodegradables y seguros para el medio ambiente (Ventosa, 2010).

2.5 Películas comestibles

Según Zaritzky (2009) las películas biodegradables son materiales de composición heterogénea, elaborados a partir de sustancias de origen natural, capaces de ser degradados por la acción enzimática de los microorganismos, bajo determinadas condiciones ambientales, en sustancias sencillas (agua, dióxido de carbono) y biomasa. "Una película (film) comestible es una capa preformada y delgada elaborada con material comestibles y la cual una vez elaborada puede ser colocada sobre el alimento o entre los componentes del mismo".

El potencial uso de las películas comestibles en múltiples aplicaciones es de gran importancia para la industria alimentaria, ya que pueden ser utilizadas como envolturas, revistiendo la superficie externa de los alimentos para protegerlo del ambiente exterior gracias a sus propiedades mecánicas y de barrera; además, los films actúan sobre la calidad y vida útil del producto mediante la incorporación de ingredientes activos como antioxidantes y agentes microbianos.

Ventosa (2010), menciona que las investigaciones en la industria alimentaria han ido en aumento en los últimos años; este fenómeno se ha dado principalmente por el crecimiento de la demanda de productos saludables, seguros y producidos de forma amigable con el medio ambiente y ecológicos. Entre las principales condiciones que estos productos deben cumplir son:

- Garantizar la seguridad de los alimentos durante su obtención con el máximo respeto al medio ambiente y la salud del consumidor, así como también la trazabilidad del producto,
- Prescindir al máximo el uso de aditivos químicos para la conservación de los alimentos y buscar alternativas para aumentar la vida útil de los productos que provengan de origen natural,
- Evitar el uso de envases de origen sintético e incentivar el desarrollo de nuevos materiales amigables con el medio ambiente, y que propongan una solución a la importante problemática que conlleva su utilización.

Según Biquet y Labuza (1988) y Kester y Fennema (1986), citado por Morales (2014) además de realizar funciones importantes como reducir la pérdida de humedad, ya que se deben mantener ciertos niveles de actividad de agua (a_w) en los alimentos con el fin de que presenten una calidad óptima y seguridad aceptable. También ayuda a retardar el transporte de gases como dióxido de carbono y oxígeno, a retener los compuestos volátiles, reducir el transporte de solutos y la migración de aceites y grasas, y conservar el sabor y aroma. Las películas proveen protección mecánica y de manejo a los alimentos, ayudando a mantener la integridad estructural del producto; pueden contener aditivos

alimentarios como antimicrobianos, antioxidantes, colorantes y conservantes que mejoran la integridad y calidad del producto.

Las películas comestibles actúan como envase primario al estar en contacto directo con la superficie del alimento, dando además la posibilidad de ser consumidas o no como parte del producto; aun si el consumidor descarta la envoltura, se logra cumplir con su carácter biodegradable, gracias a su composición de origen natural que es amigable con el medio ambiente.

Según Greener (1992), Anker (1996), Maté (2001), citado por Rojas (2010) las películas y recubrimientos comestibles desempeñan una doble función; de embalaje y como constituyentes del alimento para lo cual han de cumplir una serie de condiciones, como son:

- Buenas propiedades sensoriales y organolépticas, compatibles con la naturaleza del alimento.
- Solubilidad y dispersabilidad en su preparación y posterior consumo.
- Propiedades mecánicas y protectoras adecuadas.
- Estabilidad suficiente
- Buena adhesión a la superficie del alimento
- Requerimientos sencillos de tecnología
- Cumplimiento de la reglamentación alimentaria (sustancias GRAS)
- No toxicidad

2.6 Composición de las películas

Existe un enorme interés potencial en el uso de las plantas para producir plásticos biodegradables y, en general, para producir biopolímeros de interés industrial. Las plantas producen diversos tipos de polímeros, siendo los más abundantes la

celulosa, que es biodegradable pero no digerible por el hombre, y el almidón, que es la principal fuente de calorías de la dieta humana (Morcillo Ortega, Cortés Rubio, & García López, 2013).

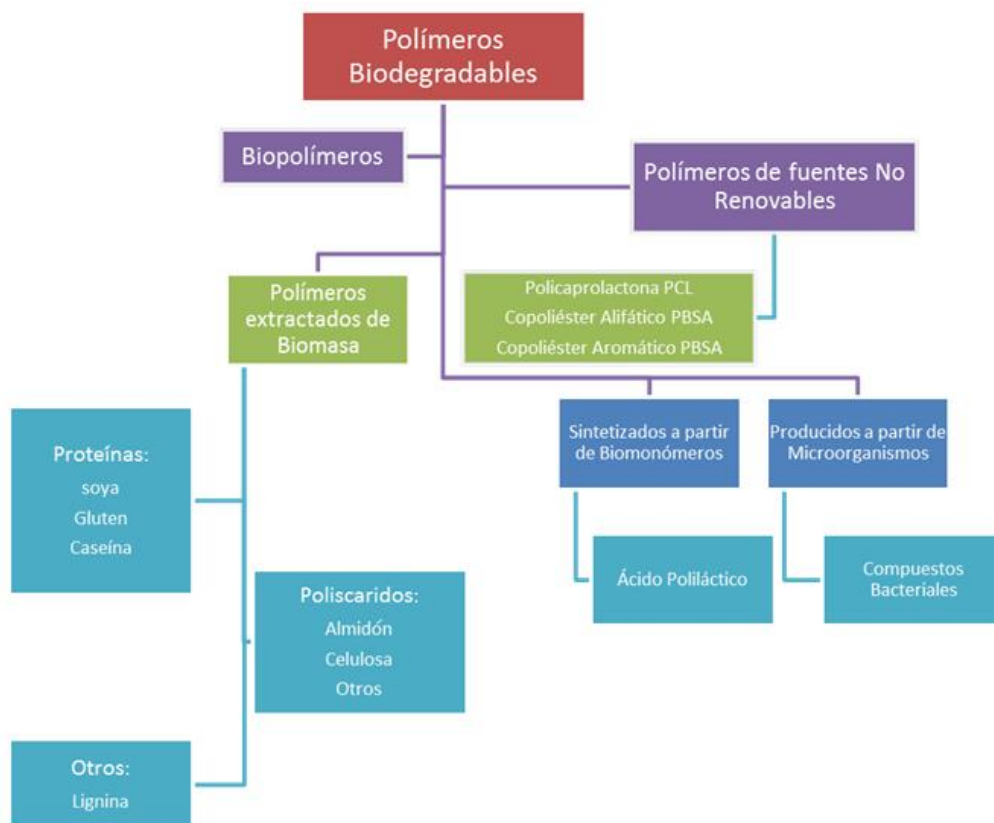


Gráfico 7: Algunos materiales biodegradables utilizados en la composición de películas

Fuente: Zaritzky, 2009

Un plástico se forma por reacción química entre un polímero y un plastificante. Los plásticos tradicionales se sintetizan a partir de polímeros de origen petroquímico y son procesados por extrusión o fusión térmica. Los bioplásticos se sintetizan generalmente a partir de polímeros de origen biológico (celulosa, almidón, aceites vegetales, etc.) o de los formados por polimerización de una molécula básica, como el ácido láctico proveniente de una fuente renovable (maíz) siguiendo la vía fermentativa (Muñoz, 2012).

Entre los materiales básicos que son utilizados comúnmente para formar las matrices poliméricas de las películas, están las proteínas, polisacáridos y lípidos, los cuales han sufrido modificaciones (químicas, físicas, enzimáticas, etc.) en su estructura para optimizar sus propiedades al momento de formar films y envolturas.

Zaritzky en 2009 señala que las formulaciones deben incluir al menos un componente capaz de formar una matriz cohesiva y continua. Los materiales básicos se clasifican en tres categorías:

- *Polisacáridos*: generalmente se utilizan celulosa o sus derivados, almidones y otros hidrocoloides.
- *Proteínas*: fundamentalmente de gluten, zeína, soja y suero de leche.
- *Lípidos*: se utilizan ceras y ácidos grasos, pero por sus propiedades mecánicas generalmente se combinan con proteínas o polisacáridos
- *Plastificantes*: ayudan a mantener la integridad de los films ya que reducen su fragilidad, aumentando la flexibilidad y la resistencia a la ruptura.

Según su naturaleza, las materias primas habitualmente utilizadas son:

2.6.1 Hidrocoloides

Según Greener (1992), citado por Rojas (2010) los films elaborados a partir de hidrocoloides pueden ser usados en aquellas aplicaciones donde el control de la migración de agua no es el objetivo. Sin embargo, presentan buenas propiedades de barrera frente al oxígeno, dióxido de carbono y los lípidos. La mayoría también poseen propiedades mecánicas deseables, útiles para mejorar la integridad estructural de productos frágiles.

Entre los hidrocoloides utilizados para la elaboración de películas comestibles están:

- **Polisacáridos**

Los polisacáridos son polímeros complejos de alto peso molecular. Están exentos de grasas, son solubles en agua y tiene la propiedad de formar geles bajo determinadas condiciones. Debido a su capacidad de absorber hasta 100 veces su peso en agua vienen utilizándose recientemente como retenedores de humedad para evitar en envejecimiento de los productos. Al formar geles de gran viscosidad, contribuyen a estabilizar la estructura de la masa (Boatella, 2004).

Dentro de los polisacáridos más comúnmente utilizados en la elaboración de películas comestibles destacan el almidón, pectina, las dextrinas y los derivados de la celulosa.

- **Proteínas**

Las proteínas son biomoléculas poco solubles o insolubles en agua, formadas por cadenas lineales de aminoácidos que poseen mejores propiedades mecánicas que las películas de polisacáridos y lípidos, debido a su estabilidad estructural. Sus propiedades de barrera frente a los gases (O₂ y CO₂) son moderadamente buenas y a pesar de que son susceptibles a variaciones de pH, pueden proporcionar un valor nutricional agregado al producto, además se adhieren fácilmente a superficies hidrofílicas y tienen la capacidad de actuar como antioxidantes naturales (Bourtoom, 2008).

Entre las proteínas más utilizadas en la formación de películas está el colágeno, la gelatina y el gluten, que cumplen principalmente con la función de mejorar las propiedades mecánicas de las películas.

2.6.2 Lípidos

Los lípidos se utilizan en la formulación de recubrimientos con el objetivo de mejorar la propiedad barrera al vapor de agua. Entre los lípidos comestibles que pueden ser incorporados en la formulación de recubrimientos comestibles se encuentran las ceras (cera de abeja, cera candelilla y cera carnauba), la goma laca,

la goma xantana y los ácidos grasos tales como el ácido esteárico, palmítico, láurico y oleico, entre otros (Pastor, 2010).

Las películas compuestas por lípidos mejoran las características de barrera a la humedad, pero tienen pobres propiedades mecánicas; sin embargo, estos compuestos actúan como ingredientes activos en la formulación de las películas, como por ejemplo el aceite esencial de orégano que le confiere una acción fuertemente antibacteriana, antifúngica, estimulante del apetito y la digestión, expectorante y, a nivel local, antiinflamatorio, cicatrizante y analgésico.

2.6.3 Películas con compuestos mixtos

Con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y de barrera de las películas, se ha diseñado metodologías para combinar sus componentes individuales y logrando formar emulsiones; para desarrollar estos compuestos es necesario conocer la microestructura y afinidad de los elementos que lo componen para posteriormente determinar su aplicación.

Según García, Pinotti, Martino y Zaritzky (2009) estas películas, generalmente están compuestas por una matriz estructural hidocoloidal (polisacáridos o proteína), que aporta la consistencia estructural y la barrera frente a los gases, y por un lípido que proporciona la resistencia al vapor de agua. También se puede realizar otras combinaciones como proteínas y polisacáridos, polímeros sintéticos y naturales, entre otros.

Las películas compuestas pueden ser de dos tipos: laminados, se obtienen por superposición de capas formando una bicapa, en general un ácido graso sobre un film de polisacárido y emulsiones o conglomerados, donde son mezclas heterogéneas de partículas hidrófobas (lípidos) dentro de una matriz hidrofílica (hidrocóloides) obtenidas mediante emulsión o microemulsión (Rojas, 2010).

2.6.4 Aditivos

Los aditivos son componentes de las películas y de los recubrimientos que pueden generar diferentes acciones dentro de los mismos, éstos pueden ser tecnológicos o

funcionales. Los primeros son los que le otorgan al recubrimiento una propiedad mecánica, mientras que los funcionales la característica es un comportamiento (Rojas, 2010). Entre los aditivos que se utilizan comúnmente son plastificantes, agentes antioxidantes y microbianos, vitaminas, saborizantes y pigmentos.

- **Plastificantes**

Ayudan a mantener la integridad de los films ya que reducen su fragilidad, aumentando la flexibilidad y la resistencia a la ruptura. Los requerimientos básicos para un plastificante en un sistema polimérico son su compatibilidad con el polímero formador de la red y su permanencia dentro de la estructura resultante, es decir no debe migrar a la superficie. El plastificante se asocia fisicoquímicamente con la estructura del polímero, reduce la cohesión e interfiere con la asociación de las cadenas poliméricas facilitando su deslizamiento por lo que aumenta la flexibilidad de los films (glicerol, sorbitol etc.), (Zaritzky, 2009).

Los plastificantes forman films con poca resistencia a la tracción pero con mayor flexibilidad y extensibilidad, siendo este aditivo el que actúa directamente con las propiedades mecánicas de las películas.

- **Agentes antioxidantes y microbianos**

Son agentes añadidos con la intención de retardar el crecimiento de levaduras, mohos y bacterias, y poseen la propiedad de comunicar sus cualidades ácidas a los demás cuerpos (Rojas, 2010). La incorporación de aditivos con propiedades antimicrobianas a la matriz polimérica de las películas, es una de las principales características que se requiere para mantener un efectivo control de contaminantes microbianos en los alimentos; para lo que se debe tomar en cuenta el tipo de alimento, el material polimérico que estará en contacto con el producto y el agente antimicrobiano utilizado.

- **Agentes nutricionales**

Así como también se están desarrollando estudios que incorporan colorantes, aromas, especias o hierbas aromáticas, ácidos, azúcares o sales en los recubrimientos y películas, para darle al film una carga organoléptica. Es el desarrollo de los estudios de envases activos (Rojas, 2010).

2.7 Propiedades de las películas

Entre las propiedades físicas más importantes para las películas y cubiertas comestibles se encuentran: color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno), y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica, (García, 2008).

En muchos casos, la eficiente barrera al vapor de agua de las películas es deseable para retardar la deshidratación de productos frescos (carnes, frutas y hortalizas), o congelados. La permeabilidad al vapor de agua está influenciada por el área del material extendido, por el espesor inducido y por la diferencia de presión de vapor de agua entre las dos superficies bajo condiciones específicas de temperatura y humedad, (García, 2008). Así mismo, las películas con propiedades mecánicas adecuadas podrían ser utilizadas como embalajes para determinados alimentos, consiguiendo reemplazar los materiales sintéticos por envolturas biodegradables y así lograr disminuir la contaminación ambiental.

Muller y Riel (1990) señalan que la tecnología de las películas y capas comestibles se aplica a los alimentos sólidos tales como frutas, verduras, carnes procesadas, productos avícolas y de pescado, repostería, confitería e ingredientes varios.

Las funciones de esta tecnología son:

- Controlar el movimiento de la humedad, la absorción o la pérdida de agua
- Evitar la oxidación de grasas, vitaminas, sabores y colores

- Suprimir la respiración aerobia en frutas y verduras frescas, de manera similar al atmosfera controlada
- Reducir el costo del empaque secundario
- Inhibir el crecimiento de bacterias, lavaduras y moho
- Evitar las reacciones químicas y enzimáticas
- Crear impermeabilidad de grasas y aceites
- Incorporar aditivos como colorantes, fungicidas o retardadores de senescencia
- Reforzar la estructura del alimento

2.7.1 Propiedades mecánicas de las películas comestibles de polisacárido

Según Brindle y Krochta (2008), citado por Domínguez y Jiménez (2012) la fuerza tensil, la elongación y la fuerza de corte son propiedades mecánicas de las películas comestibles que pueden ser usadas para describir el comportamiento del material. La fuerza tensil o dureza es la fuerza máxima por área que una película puede soportar antes de romperse; se obtiene dividiendo la fuerza máxima entre el área transversal de la película. La elongación es el porcentaje de cambio máximo en longitud de la película antes de romperse, a menor porcentaje de elongación menor flexibilidad.

Las características de las películas comestibles difieren según el material y los aditivos utilizados en su formulación; así como también el manejo y procedimiento utilizado para su elaboración. Entre las características mecánicas más importantes que deben poseer las películas comestibles son:

- **Resistencia a la tracción**

Las envolturas obtenidas se requiere que posean una resistencia a la tracción alta, que proporcione protección mecánica al producto, además de que sea lo

suficientemente flexible para adaptarse a las posibles deformaciones del alimento, de manera que la película pueda adherirse al producto y ofrecer a su vez una protección tanto mecánica como de barrera, necesario para mantener la calidad y aumentar la vida útil de un producto (Morales, 2014).

- **Elongación a la ruptura**

Pero las propiedades mecánicas de un polímero no se remiten exclusivamente a conocer cuán resistente es. La resistencia nos indica cuánta tensión se necesita para romper algo. Pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla. Ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de elongación de la muestra polimérica. La elongación es un tipo de deformación. La deformación es simplemente el cambio en la forma que experimenta cualquier cosa bajo tensión. Cuando hablamos de tensión, la muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga (Vigilante, 2009).

2.7.2 Propiedades de barrera al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua es una forma de cuantificar la facilidad con que un material puede ser traspasado por el vapor de agua. De forma más precisa, se podría definir como la cantidad de vapor que pasa por unidad de superficie a través de un material con un espesor determinado por unidad de tiempo, cuando entre sus paredes existe una diferencia de presión unitaria bajo unas condiciones particulares de temperatura y humedad relativa. Es un proceso de disolución en el que el vapor se disuelve en un lado de la película y entonces se difunde a través del otro lado (Rojas, 2010).

2.7.3 Solubilidad en agua

La solubilidad en agua es una propiedad importante para el uso de las películas en el envasado de alimentos, ya que en algunas aplicaciones se requiere una baja solubilidad durante el almacenamiento, para mantener la integridad del producto y la resistencia a la humedad; y en otras que sean altamente solubles, como en la encapsulación de los alimentos o aditivos o durante la cocción de productos

cubiertos con estos materiales. Por lo cual es necesario conocer sus características para posteriormente poder orientar una aplicación (Morales, 2014).

2.7.4 Color

El color se puede considerar un parámetro importante en la caracterización de las películas, ya que se asocia con la materia prima utilizada en la preparación de las mismas. Además, para una buena presentación visual del producto, es deseable que las películas muestren alto brillo y transparencia, pero no es un factor limitante para su uso (Morales, 2014).

2.8 Características de las envolturas comestibles

Tabla 3: Características de películas comestibles

Característica	Película de almidón modificado de yuca (Morales, 2014)	Película de zeína y aceites esenciales (Rojas, 2010)	Película de almidón de maíz, yuca y glicerol (Muñoz, 2014)
Permeabilidad al vapor	0,326 g/h*m ²	0,52 g/h*m ²	1,260 g/h*m ²
Elongación a la ruptura	31,38 %	76,08 %	35,17 %
Resistencia a la tracción	5,56 MPa	1,169 MPa	0,35MPa
Resistencia al desgarre	20,92 N/mm	34,02 N/mm	5,72 N/mm
Solubilidad en el agua	25,16 %	-	39,04%

g: gramo, h: hora, m: metro, MPa: Megapascal, N: newton, mm: milímetro

Fuente: Morales, 2014; Rojas, 2010 y Muñoz, 2014

Las películas comestibles deben cumplir con características específicas que dependen del alimento al que está orientada su aplicación y los procesos

metabólicos de los mismos; así también, se debe considerar que las propiedades sensoriales de las envolturas no interfieran en las cualidades propias del producto, para lo cual estas deben ser transparentes, insípidas e inodoras.

Las propiedades de las envolturas (mecánicas, de barrera, solubilidad y color) están directamente relacionadas con la materia prima utilizada para su formulación; por lo cual, se debe tomar en cuenta el tipo de alimento al que va ser utilizado la película para determinar la composición que requiere el envase primario y las funciones que debe cumplir.

2.9 Características de las envolturas sintéticas

Según Arredondo (1972), los plásticos utilizados para las envolturas cumplen con las siguientes propiedades:

Resistencia a compresión: Según el tipo de envoltura, la resistencia a compresión puede variar de 500 a 2.500 Kg/cm².

Resistencia a tracción: En las envolturas la resistencia a tracción (varía entre 350 y 550 Kg/cm²) es muy inferior a la resistencia a compresión, aunque en algunos casos, para filamentos extruidos en frío se puede llegar a cifras del orden de 4.500 Kg/cm².

Tenacidad: Las envolturas de poliestireno normal tiene una resistencia entre 0,25 a 0,40, pero el copolímero ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) llega hasta 10.

Densidad: El rango de densidades de los plásticos es relativamente bajo y se varía entre 0,9 y 2,3 g/cm³.

Permeabilidad: Los films de plástico se emplean extensamente como barreras de vapor, como capas superpuestas en una gran variedad de estratificados y para otras muchas aplicaciones similares. También es importante su permeabilidad al vapor de agua. En algunas circunstancias, tales como, en barreras de vapor, se desea una baja permeabilidad, mientras que en otras, la permeabilidad debe ser alta.

Tabla 4: Propiedades mecánicas de polipropileno

Alargamiento a la Ruptura (%)	150-300 para filmes biax. >50
Coeficiente de Fricción	0,1-0,3
Dureza – Rockwell	R80-100
Módulo de Tracción (GPa)	0,9-1,5 - par filmes biax. 2,2-4,2
Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044 (mg/1000 ciclos)	13-16
Resistencia a la Tracción (MPa)	25-40 para filmes biax. 130-300,
Resistencia al Impacto Izod (J m⁻¹)	20-100

GPa: gigapascal, MPa: megapascal, J: julio, m: metro, mg: miligramos

Fuente: Rivas, 2013

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

La presente investigación se realizó en los laboratorios de la Unidades Edu-productivas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

3.1.1 Ubicación

Región:	Zona 1
Provincia:	Imbabura
Cantón:	Ibarra
Parroquia:	El Sagrario
Lugar:	Unidades Edu-productivas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial-UTN

Situación Geográfica

Altitud:	2250 m.s.n.m
Latitud:	0° 21´ NORTE
Longitud:	78° 08´ OESTE

Características Climáticas

Temperatura media anual:	18,9 °C
Humedad Relativa media anual:	73%
Pluviosidad media anual:	51,1 mm/día

Fuente: Estación de Meteorología e Hidrología de la ciudad de Ibarra, Granja Experimental "Yuyucocha" de la Universidad Técnica del Norte, (2014)

3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

3.2.1 Materia prima e insumos

- Bagazo de caña de azúcar
- Glucosa líquida
- Glicerol
- Aceite de orégano
- Gelatina

3.2.2 Reactivos

- Hidróxido de sodio al 15%
- Hipoclorito de sodio al 5%
- Ácido clorhídrico 2,5 N
- Agua destilada

3.2.3 Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación de 500 ml
- Vasos de precipitación de 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Embudos de vidrio
- Agitador de vidrio
- Papel filtro
- Jarras de plástico
- Cocineta eléctrica
- Termómetro -10 a 100°C
- Balanza 0,01 - 500 g. Sensibilidad 0,01 g.

- Cajas Petri de plástico (8cm de diámetro)
- Probetas de 50 ml
- Tamices de numero de malla 4 y18
- Tornillo de precisión 0,01mm

3.2.4 Equipos

- Higrómetro
- Balanza infrarroja
- Medidores de pH
- Espectrofotómetro
- Tensiómetro
- Balanza analítica
- Licuadora de mano
- Microscopio óptico
- Estufa

3.3 Métodos

La presente investigación, se desarrolló caracterizando de la materia prima (bagazo de caña de azúcar) mediante análisis de humedad y cantidad de celulosa, se obtuvo celulosa microcristalina a la cual, se determinó el porcentaje de celulosa y su solubilidad en agua; finalmente, se elaboraron las envolturas y se procedió a evaluar color, permeabilidad al vapor de agua, propiedades mecánicas, solubilidad y análisis de micrografía; así como también, se determinó las características microbiológicas y organolépticas a los 5 mejores tratamientos.

3.3.1 Factores en estudio

Para evaluar el efecto de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol), y la cantidad de aceite de orégano en la obtención de una envoltura comestible a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar, se tomó en consideración que los parámetros de tiempos de agitación y temperaturas de secado sean constantes, como se indica en el manejo específico y, se estableció los siguientes factores de estudio:

FACTOR A: tipo de plastificante utilizado en la formulación

A₁: glucosa líquida

A₂: glicerol

FACTOR B: cantidad de plastificante (glucosa líquida o glicerol) con respecto al peso total de envoltura

B₁: 20%

B₂: 30%

B₃: 40%

FACTOR C: cantidad de ácido graso (aceite de orégano) con respecto al peso total de envoltura

C₁: 10 %

C₂: 20%

3.3.2 Tratamientos

De la combinación de los factores A, B y C se obtuvieron 12 tratamientos, que se detallan a continuación:

Tabla 5: Tratamientos en estudio para evaluar el efecto de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano en la obtención de una envoltura comestible

Tratamiento	Tipo de plastificante	Cantidad de plastificante	Cantidad de aceite de orégano	Combinaciones
T1	A1	B1	C1	A1B1C1
T2	A1	B1	C2	A1B1C2
T3	A1	B2	C1	A1B2C1
T4	A1	B2	C2	A1B2C2
T5	A1	B3	C2	A1B3C1
T6	A1	B3	C1	A1B3C2
T7	A2	B1	C1	A2B1C2
T8	A2	B1	C2	A2B1C2
T9	A2	B2	C1	A2B2C1
T10	A2	B2	C2	A2B2C2
T11	A2	B3	C1	A2B3C1
T12	A2	B3	C2	A2B3C2

Tabla 6: Descripción de los tratamientos en estudio para evaluar el efecto de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano en la obtención de una envoltura comestible

Tratamiento	Descripción
T1	20% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 60% celulosa microcristalina
T2	20% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina
T3	30% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina
T4	30% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina
T5	40% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 30% celulosa microcristalina
T6	40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina
T7	20% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 60% celulosa microcristalina
T8	20% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina
T9	30% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina
T10	30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina
T11	40% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina
T12	40% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 30% celulosa microcristalina

3.3.3 Diseño de la investigación

En esta investigación experimental se empleó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A x B x C con 3 repeticiones, además, se realizó la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, la prueba Diferencia Mínima Significativa para factores, para la evaluación del sabor, olor, color, solubilidad en la boca y aspecto se usó la prueba de Friedman.

3.3.4 Características del Experimento

Número de repeticiones por tratamiento

Tres (3)

Número de tratamientos

Doce (12)

Número de unidades experimentales

Treinta y seis (36)

3.3.5 Unidad experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por 0,14 ml de solución obtenida por cada cm^2 que fueron vertidos en cajas Petri de plástico de 8 cm de diámetro ($50,26\text{cm}^2$ de área).

3.3.6 Análisis de varianza

Tabla 7: esquema del análisis de varianza para la evaluación de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y cantidad aceite de orégano

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	35
Tratamientos	11
A (tipo de plastificante)	1
B (cantidad de plastificante)	2
A x B	2
C (cantidad de aceite de orégano)	1
C x A	1
C x B	2
A x B x C	2
Error Experimental	24

3.3.7 Análisis funcional

Tratamientos: Tukey al 5%

Factores: DMS (Diferencia Mínima Significativa)

Variables no paramétricas: Friedman al 5%

3.4 Manejo Específico del Experimento

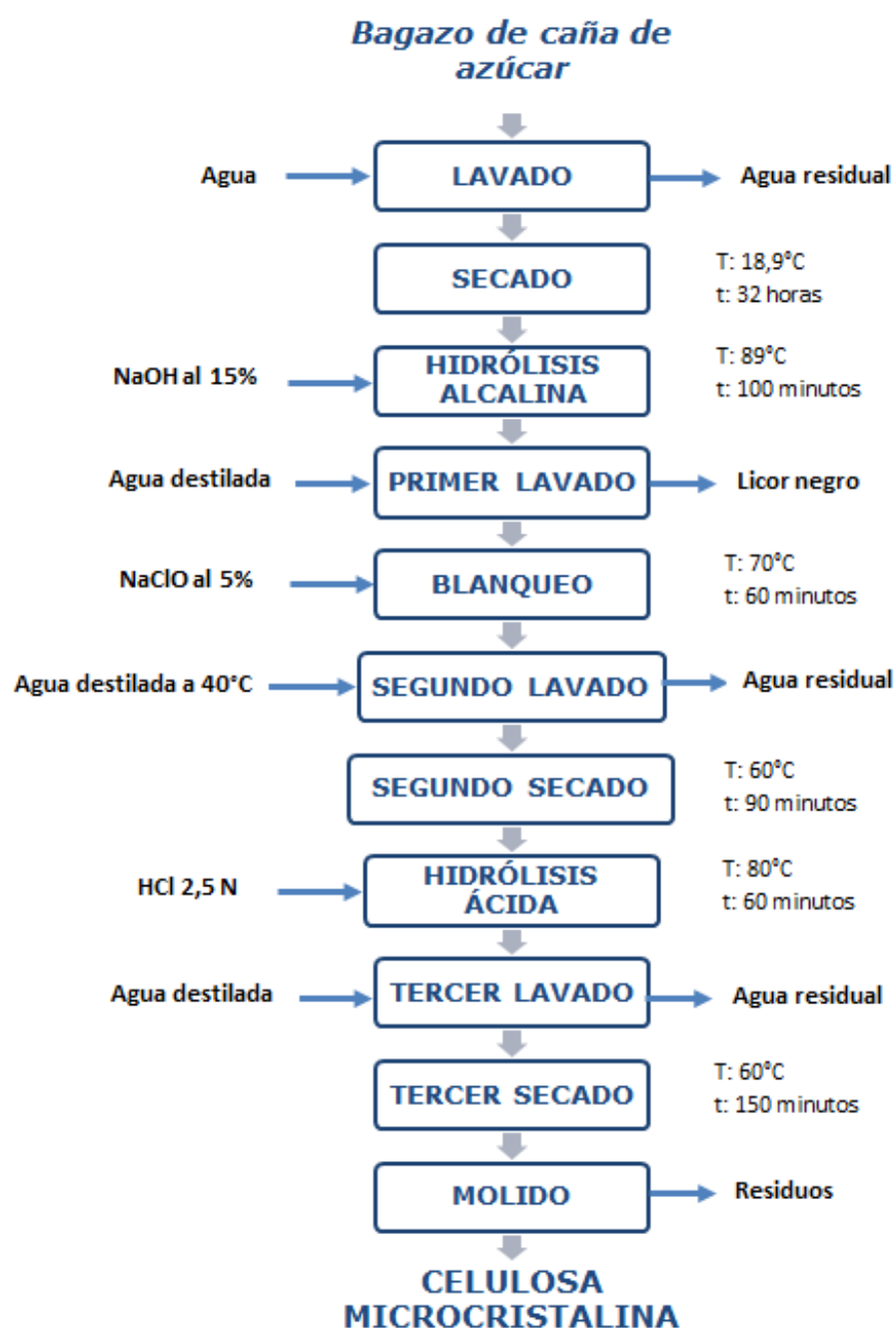
Para la obtención de las envolturas comestibles, inicialmente se obtuvo celulosa microcristalina a base del bagazo de caña de azúcar; a partir de la cual, se desarrolló la fase experimental de la investigación.

3.4.1 Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de caña de azúcar

Para la obtención de celulosa microcristalina se utilizó el método desarrollado por Rojas et al. en 2011 con ciertas modificaciones para lo cual, se tomó en cuenta trabajos realizados por otros investigadores, considerando el rendimiento obtenido por cada uno de ellos en el desarrollo del proceso.

3.4.1.1 Manejo específico del proceso para la obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de caña de azúcar

Diagrama de bloques para la obtención de celulosa microcristalina partir del bagazo de caña de azúcar



3.4.1.2 Descripción del proceso para la obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de caña de azúcar

1. LAVADO: se utilizó bagazo de caña de azúcar proveniente de un ingenio azucarero, con una humedad del 40%, el cual se procedió a sumergir en agua limpia y por medio de gravedad eliminar partículas e impurezas superficiales que estén adheridas a las fibras de la caña de azúcar.



2. SECADO: La materia prima limpia se secó en recipientes a temperatura ambiente (18,9°C) durante 32 horas. El bagazo limpio y seco fue tamizado, con la finalidad de obtener partículas de tamaño uniforme; para lo cual, se utilizó un tamiz de número de malla 4.



3. HIDRÓLISIS ALCALINA: El bagazo seco fue sometido a un tratamiento alcalino con NaOH al 15% p/v, utilizando una relación 1-10, durante 100 minutos de cocción bajo agitación continua; de esta manera, se removió la lignina por reacciones de hidrólisis y así conseguir liberar las fibras de celulosa.



4. PRIMER LAVADO: el material resultante se lavó y filtró con agua destilada hasta alcanzar pH neutro; con lo cual, se obtiene celulosa con residuos de lignina y licor negro producto de la digestión de diferentes compuestos orgánicos.



5. BLANQUEO: para eliminar hidratos de carbono tales como pectinas, hemicelulosas, proteínas, algunos componentes minerales y la lignina residual, se utilizó NaClO al 5% durante 60 minutos a 70 °C bajo agitación continua; con el transcurso del tiempo, se observó el cambio de color de la pulpa de celulosa hasta obtener una coloración blanco brillante.



6. SEGUNDO LAVADO: la celulosa resultante se filtró y lavó con agua destilada caliente a 40°C, hasta obtener un pH entre 5 y 7, que asegura la eliminación del hipoclorito de sodio.



7. SEGUNDO SECADO: la pulpa de celulosa de elevada pureza, se secó en una estufa a 60°C durante 90 minutos.



8. HIDRÓLISIS ÁCIDA: la celulosa microcristalina se obtuvo mediante la hidrólisis parcial de la celulosa con ácido clorhídrico, que afecta a las regiones amorfas de las fibras liberando partículas cristalinas de un tamaño de dos décimas de micra; para lo cual, se hidrolizó la pulpa de celulosa con HCl al 2,5N por 60 minutos, a 80 °C y con agitación esporádica.



9. TERCER LAVADO: la suspensión de celulosa microcristalina obtenida se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro y libre de cloruros.



10. TERCER SECADO: finalmente la masa húmeda de celulosa microcristalina se secó en una estufa a 60°C durante 150 minutos.



11. MOLIDO: la masa seca de celulosa microcristalina fue molida con la ayuda de un mortero y finalmente tamizada hasta obtener un polvo seco de partículas uniformes.



3.4.2 Obtención de envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina

Para la preparación de las envolturas se utilizó el método de casting, proceso mediante el cual un líquido es vertido en un molde y dejado para su reacción, curado o endurecimiento para formar un objeto rígido que produce la cavidad del molde utilizado (Aleman, 2006). Al obtener la solución compuesta por los distintos componentes de la película, esta es vertida en moldes de plástico en los que se evapora el solvente utilizado (agua destilada) a temperatura y humedad controladas para formar las envolturas.

3.4.2.1 Manejo específico del proceso para la obtención de envolturas comestibles de celulosa microcristalina

Diagrama de bloques para la obtención de envolturas comestibles de celulosa microcristalina

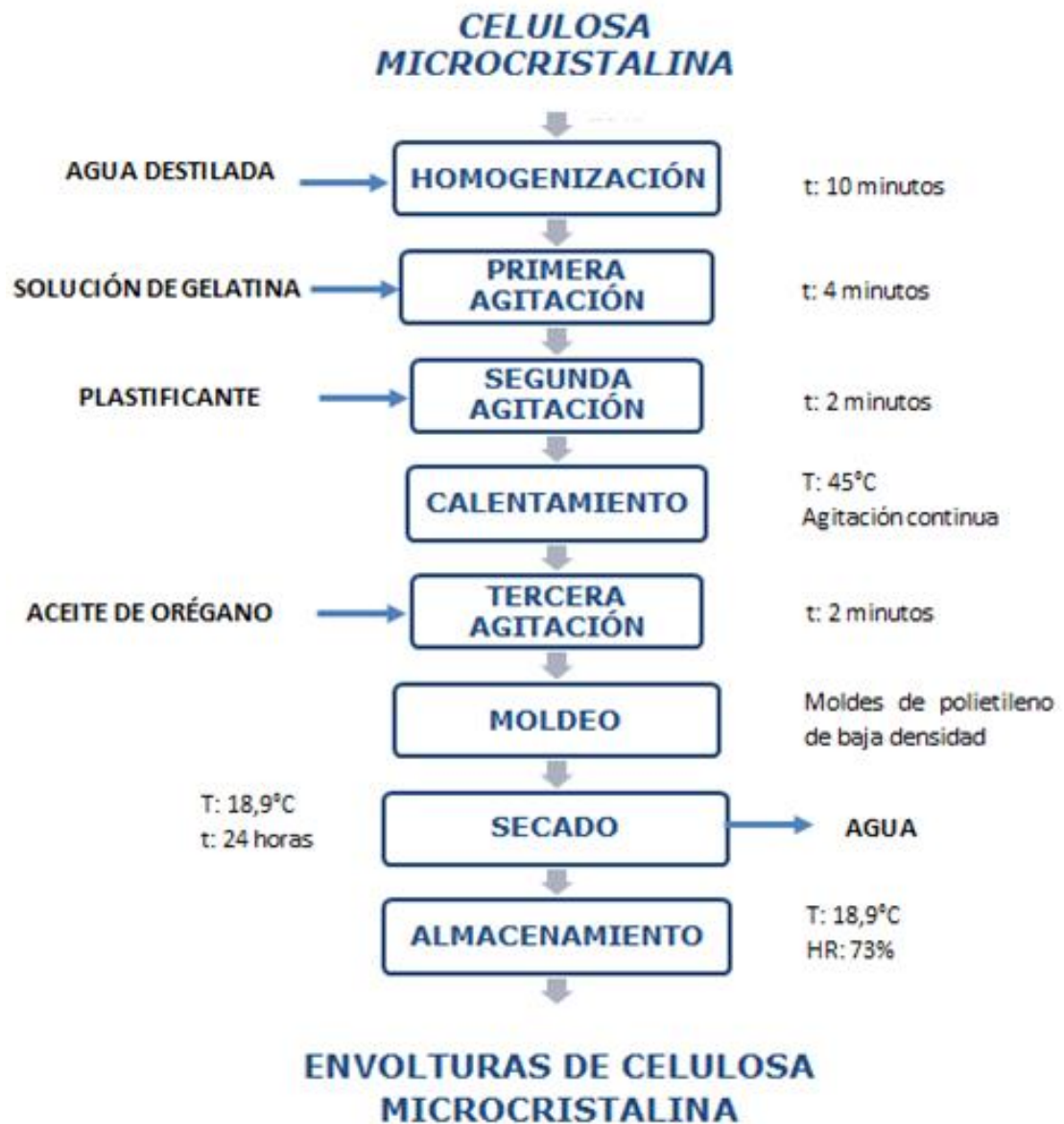
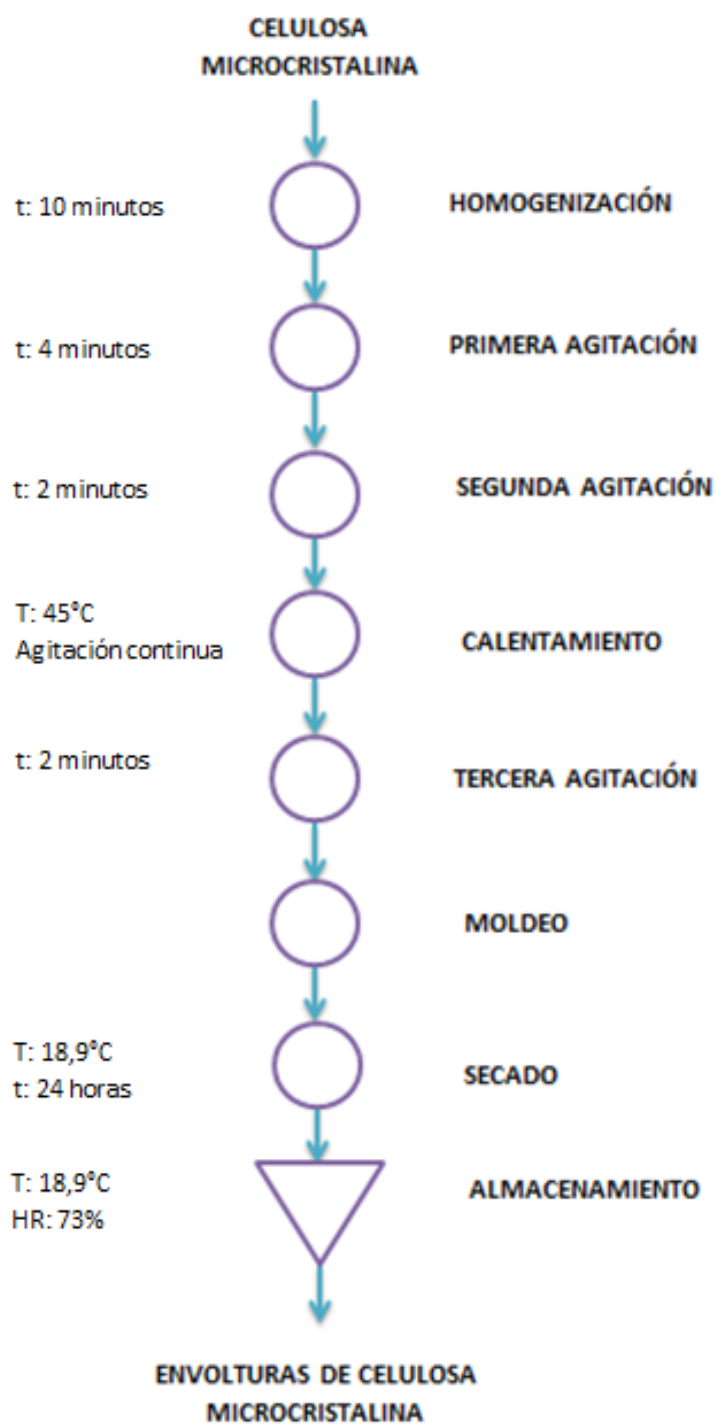


Diagrama de flujo para la obtención de envolturas comestibles de celulosa microcristalina



3.4.2.2 Descripción del proceso para la obtención de envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina

1. HOMOGENIZACIÓN: se preparó una solución de celulosa microcristalina con agua destilada al 10% (p/p) y se agitó durante 10 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.



2. PRIMERA AGITACIÓN: se preparó una solución de gelatina utilizando 10ml de agua destilada a temperatura ambiente (18,9°C) para hidratarla durante 3 minutos y se mezcló con 10ml de agua caliente (98°C); al obtener la gelatina disuelta, se añadió a la mezcla de celulosa microcristalina con agitación durante 4 minutos, hasta formar una matriz polimérica homogénea.



2. SEGUNDA AGITACIÓN: una vez obtenida la solución de celulosa microcristalina y gelatina, se procedió a añadir los distintos porcentajes de glucosa

líquida o glicerol establecidos en el estudio y se agitó a temperatura ambiente ($18,9^{\circ}\text{C}$) durante 2 minutos, hasta obtener una mezcla homogénea.



2. CALENTAMIENTO: la solución obtenida se calentó hasta alcanzar una temperatura de 45°C , manteniendo agitación constante.



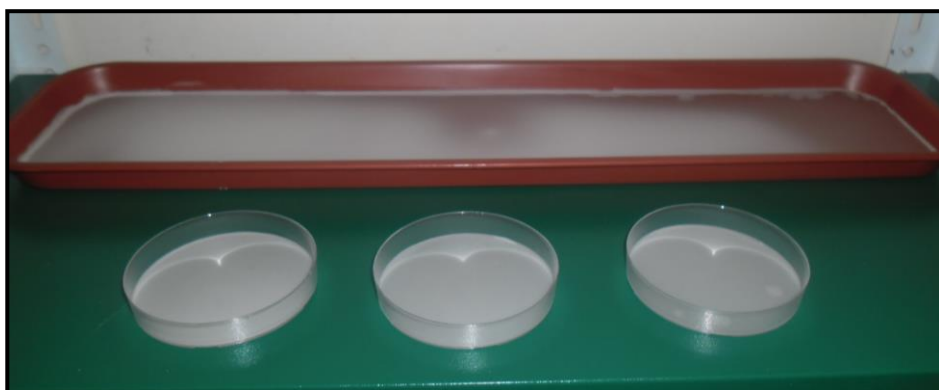
3. TERCERA AGITACIÓN: finalmente, se agregó las distintas cantidades de aceite de orégano establecidas para el estudio y se agitó durante 2 minutos manteniendo la temperatura de 40 a 45°C .



4. MOLDEO: se vertió 7 ml de solución obtenida en cada caja Petri de polietileno de baja densidad (8cm de diámetro) sobre superficies niveladas para obtener envolturas con espesor homogéneo.



5. SECADO: las envolturas se secaron a temperatura de ambiente (18,9°C) durante 24 horas sin exposición directa al sol; transcurrido el tiempo las envolturas se desprenden de forma íntegra de la superficie de las cajas.



6. ALMACENAMIENTO: las envolturas una vez formadas, fueron almacenadas dentro de bolsas de polietileno a temperatura ambiente (18,9°C) en un lugar oscuro y seco para evitar su deterioro.



3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Variables cuantitativas

1. En la materia prima: Bagazo de caña de azúcar

- **Humedad:** se realizó con la finalidad de conocer el porcentaje de humedad que contiene bagazo de caña de azúcar luego del secado, para este fin, se utilizó el método de ensayo AOAC 925.10.
- **Contenido de celulosa:** para conocer el contenido de celulosa de la materia prima, se empleó el método modificado de P.J. Van Soest, (1994). Ver Anexo I.

2. En la celulosa microcristalina obtenida

- **Humedad:** se evaluó con la finalidad de conocer el porcentaje de humedad que contiene la celulosa microcristalina luego del secado y, se utilizó el método de ensayo AOAC 925.10.
- **Contenido de cenizas.-** se logró determinar la cantidad de minerales presentes en la celulosa microcristalina luego del proceso químico, y se realizó por el método gravimétrico según el método explicado en AOAC 923.03.
- **Contenido de celulosa:** permitió conocer el grado de pureza de la celulosa microcristalina obtenida del bagazo de caña de azúcar, para lo cual, se determinó el contenido de alfa celulosa según la norma TAPPI T 203 m-58. Ver anexo II.
- **Contenido de lignina:** se evaluó con la finalidad de conocer el porcentaje de lignina remante que contiene la celulosa microcristalina luego del proceso químico y se utilizó el método de ensayo TAPPI T 13 os-54. Ver anexo III.
- **Solubilidad:** se determinó con la finalidad de conocer el porcentaje de materia insoluble presente en la celulosa microcristalina, de acuerdo al método propuesto por Gontard et al, (1994) con adaptación.

3. En el producto final: envolturas comestibles de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar

- **Resistencia a la tracción.-** permitió determinar el máximo esfuerzo que las envolturas pueden resistir antes de su rompimiento y, se realizó de acuerdo a la norma ASTM D882-97 en un texturómetro (Texture Analyser) a una velocidad de 10mm/min y pinzas de tensión A/TG, utilizando muestras rectangulares de 100 mm de largo por 20 mm de ancho.
- **Elongación a la ruptura:** se determinó con la finalidad de conocer el cambio de longitud máxima que se produce antes fracturarse la muestra y se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación de Elongación a la ruptura

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} * 100$$

ε : porcentaje de elongación a la ruptura (%)

l_0 : longitud inicial de la película entre las mordazas (mm)

l : longitud final de la película después del ensayo (mm)

Fuente: (Callister, 2002, p.129)

- **Grado de transmisión de vapor de agua.-** se logró cuantificar la facilidad con la que el vapor de agua puede traspasar en las películas; para lo cual, el ensayo se realizó de acuerdo a la Norma Chilena Oficial NCh2098, equivalente a las normas ASTM D1653-93, utilizando el método de la copa húmeda con algunas modificaciones. Ver anexo IV.
- **Solubilidad en agua:** se logró determinar la resistencia que tienen las películas a desintegrarse en el agua y se realizó estableciendo el porcentaje de material seco de la película solubilizada después de 24 horas de inmersión del material inicia, de acuerdo al método propuesto por Gontard et al, (1994) con adaptación. Ver anexo V.

- **Color.-** permitió realizar la comparación numérica del color de las distintas muestras, la cual se expresó como la diferencia de color (ΔE); para su medición, se utilizó el método L^*a^*b , por medio de un espectrofotómetro que interpreta el color básicamente de la misma manera que lo hace el ojo humano. Ver anexo VI.

ΔL^* (muestra L^* menos estándar L) = diferencia en luminosidad u oscuridad

Δa^* (muestra a^* menos estándar a) = diferencia en rojo y verde

Δb^* (muestra b^* menos estándar b) = diferencia en amarillo y azul

ΔE = diferencia de color total

Para determinar la diferencia de color total entre las tres coordenadas se usa la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2}$$

3.5.2 Variables cualitativas

Se realizó además análisis de microestructura, organolépticos, microbiológicos y fisicoquímicos a los mejores tratamientos obtenidos anteriormente, con el propósito de definir la calidad del producto final.

- **Microestructura de las películas**

La microestructura de la superficie de las películas se evaluó mediante microscopía óptica, con la finalidad de conocer su homogeneidad y distribución de sus fibras en cada una de ellas. Las muestras fueron colocadas en porta objetos y observadas en un microscopio óptico digital, a un aumento de 10X.

- **Análisis microbiológico**

Con el propósito de determinar la aceptabilidad microbiológica del producto dentro de los parámetros establecidos, se realizó el recuento de mohos y levaduras totales según la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 529-10:98.

- **Características organolépticas**

Con la finalidad de conocer el grado de aceptabilidad de las envolturas, se realizó la evaluación sensorial a los cinco mejores tratamientos, según los resultados de las variables cuantitativas; para lo cual, se utilizó un panel de 15 catadores que evaluaron los siguientes parámetros:

- Color
- Aspecto
- Sabor
- Olor
- Solubilidad en la boca
- Aceptabilidad

Los datos registrados se valoraron utilizando pruebas no paramétricas de FRIEDMAN y se determinó los 2 mejores tratamientos.

$$x^2 = \frac{12}{r * t(t + 1)} \Sigma R^2 - 3R(t + 1)$$

Dónde:

r: número de panelistas

t: tratamientos

R: rangos

Las fichas de encuesta para la evaluación sensorial de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar se detallan en el anexo VII.

- **Análisis fisicoquímicos**

Fibra: se evaluó con el propósito establecer el aporte de fibra que la celulosa microcristalina proporciona al producto, se analizó según el método de ensayo AOAC 978.10.

Carbohidratos totales: permitió conocer el contenido de azúcar, almidón y la fibra vegetal de las películas, y se realizó mediante cálculos.

Proteína: permitió determinar la calidad nutricional de las envolturas, y se determinó mediante el método de ensayo AOAC 920.87.

Contenido de cenizas.- se logró determinar la cantidad de minerales presentes en las películas, y se realizó por el método gravimétrico según el método explicado en AOAC 923.03.

Extracto etéreo: permitió conocer el contenido de grasa total de las películas, y se realizó mediante el método de ensayo AOAC 920.85.

Humedad: Esta variable se analizó con la finalidad de determinar la cantidad de contenido acuoso que contiene las envolturas comestibles, y se realizó mediante el método de ensayo AOAC 925.10.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar

Se usó como materia prima el bagazo de caña de azúcar de un ingenio azucarero para la obtención de celulosa microcristalina, del cual se determinó el contenido de celulosa y la humedad como se presenta en la tabla 8.

Tabla 8: Variables cuantitativas del bagazo de caña de azúcar

Humedad	9,16%
Contenido de celulosa	56,83%

El contenido de celulosa del bagazo es de 56,83%, similar a datos que presenta Ruilova & Hernández (2014) y antecedentes de análisis realizados al bagazo que se obtiene del ingenio azucarero; con lo cual se puede afirmar que este residuo agroindustrial constituye una potencial fuente de pulpa de celulosa.

Las variables cuantitativas y cualitativas analizadas en la celulosa microcristalina obtenida del bagazo de caña de azúcar permitieron determinar los criterios específicos de pureza del producto elaborado. Los resultados del análisis proximal se presentan en la tabla 9.

Tabla 9: Variables cuantitativas y cualitativas de la celulosa microcristalina

	Celulosa microcristalina obtenida del bagazo de caña de azúcar	Celulosa microcristalina comercial (Barros,2009)
Humedad	6,1%	No más del 7%
Cenizas	3,92%	No más del 0,5%
Contenido de celulosa	81,79 %	97%
Contenido de lignina	8,20 %	---
Solubilidad en agua	3,16%	No más del 0,24%
Descripción	Polvo fino Casi blanco Inodoro	Polvo fino y blanco o casi blanco, inodoro

La tabla 9 indica el porcentaje de celulosa microcristalina reportado en el presente trabajo (81,97%), el cual es menor que el obtenido en otros estudios; esta diferencia podría estar relacionada con la metodología utilizada para la obtención de la celulosa microcristalina, ya que se ha evidenciado que durante el proceso químico se está produciendo el desdoblamiento de la celulosa convirtiéndola en glucosa y causando pérdidas. Además, el contenido de lignina es de 8,20%, con lo cual se demuestra que existen remantes después del proceso químico y no ha sido removida en su totalidad.

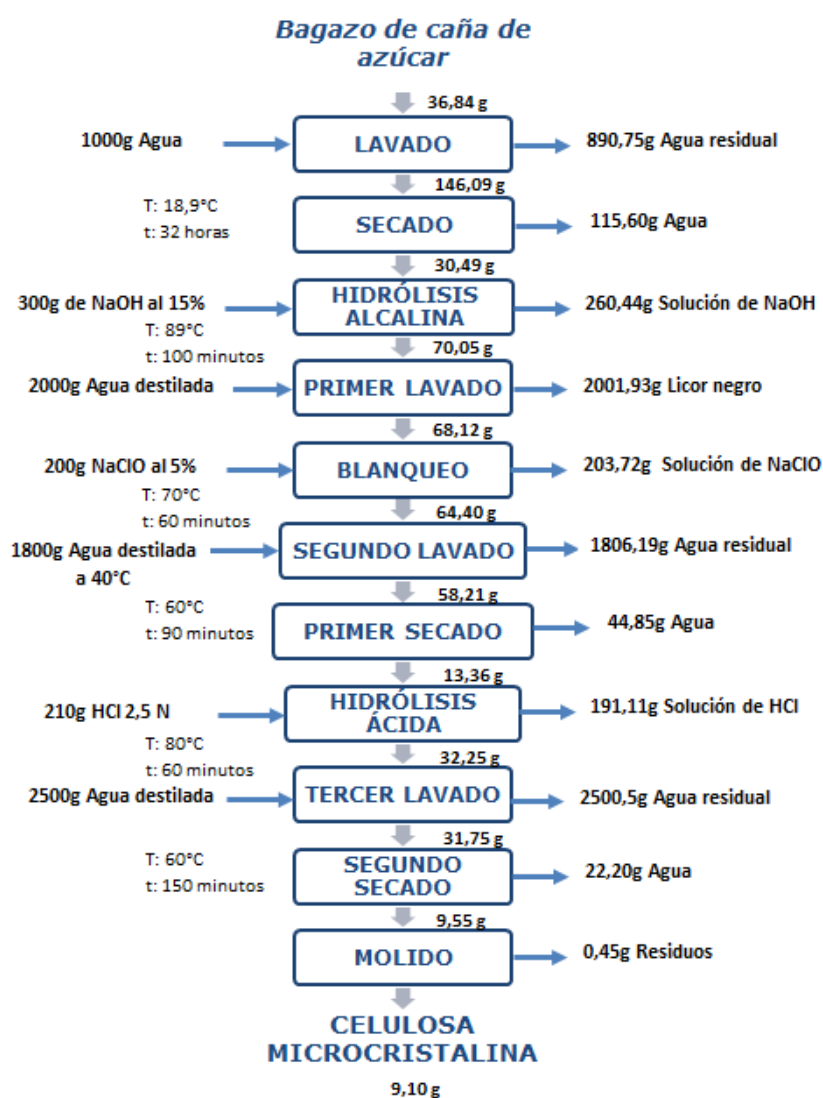
Otro criterio de pureza de la celulosa microcristalina es su solubilidad en agua, la cual fue de 3,16%, dando como resultado 96,84% de materia insoluble; es decir que el producto es mayoritariamente insoluble en agua.



Gráfico 8: Celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar

La celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar posee características de pureza similares a las descritas por Barros (2009), manifestándose como un polvo fino de color casi blanco, no presentó olor.

4.1.1 Balance de materiales la celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar



Rendimiento: $PP/PT \cdot 100$

Rendimiento: $9,10/36,84 \cdot 100$

Rendimiento: 24,70%

4.1.2 Costos de producción de la celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar

Para producir 25 g de celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar se ha realizado un balance de costos, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Costos de producción para la obtención de 25g de celulosa microcristalina

		Unidades	Cantidad	Valor Total (USD)
Materia Prima	Bagazo de caña de azúcar	g	100	0,03
	Hidróxido de sodio al 15%	l	0,83	9,44
Insumos	Hipoclorito de sodio al 5%	l	0,56	0,70
	Ácido clorhídrico 2,5 N	l	0,58	3,17
	Agua destilada	l	8,33	4,99
Otros	Luz	kwh	4,00	0,33
	Agua	m ³	0,20	0,18
Total				18,84

Se determinó que el costo de producción de 25 gramos de celulosa microcristalina es de 18,84 USD, lo que indica que cada gramo tiene un precio de 0,75USD; con lo cual, se evidencia que el valor obtenido es alto debido al procedimiento de obtención que fue a escala laboratorio y el costo de los reactivos utilizados en el proceso químico es mayor por las pocas cantidades adquiridas; sin embargo, es posible disminuir este costo, si es realizado a nivel industrial y por medio de la reutilización de las sustancias químicas utilizadas.

4.2 Análisis estadístico de las variables cuantitativas de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar

4.2.1 Análisis de las propiedades mecánicas

4.2.1.1 Resistencia a la tracción

Las pruebas mecánicas de tracción determinan el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rompimiento, es decir indica cuánta tensión se necesita para que se produzca la ruptura de las películas. Dentro de las propiedades mecánicas de las envolturas se requiere que posean alta resistencia a la tensión, la cual garantiza la integridad física del producto, necesaria para mantener su calidad y prolongar la vida útil. Los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas de tracción se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Datos de resistencia a la tracción

	<i>tra/rep</i>	I	II	III	Σt	MEDIA
T1	A1B1C1	7,88	7,83	8,56	24,27	8,09
T2	A1B1C2	3,56	3,52	3,00	10,09	3,36
T3	A1B2C1	6,08	6,20	6,56	18,85	6,28
T4	A1B2C2	5,73	5,99	6,62	18,34	6,11
T5	A1B3C1	1,42	1,6761	1,45	4,54	1,51
T6	A1B3C2	0,73	1,07	0,81	2,61	0,87
T7	A2B1C1	1,88	1,75	1,93	5,56	1,85
T8	A2B1C2	1,45	1,35	1,69	4,50	1,50
T9	A2B2C1	0,48	0,55	0,58	1,60	0,53
T10	A2B2C2	0,57	0,73	0,48	1,79	0,60
T11	A2B3C1	0,54	0,40	0,49	1,42	0,47
T12	A2B3C2	1,82	1,98	1,90	5,70	1,90
	Σr	32,15	33,05	34,06	99,27	2,76

Tabla 11: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable resistencia a la tracción

<i>F de V</i>	gl	SC	CM	FC		Ft	
						0,05	0,01
TOTAL	35	228,006					
TRATAMIENTO	11	226,697	20,609	377,81	**	2,18	2,89
FA (tipo plastificante)	1	93,819	93,819	1719,93	**	4,26	7,82
FB (cantidad plastificante)	2	44,856	22,428	411,16	**	3,40	5,61
A X B	2	50,573	25,287	463,57	**	3,40	5,61
FC (cantidad ac. orégano)	1	4,862	4,862	89,13	**	4,26	7,82
A X C	1	11,140	11,140	204,22	**	4,26	7,82
B X C	2	14,990	7,495	137,40	**	3,40	5,61
A X B X C	2	6,457	3,229	59,19	**	3,40	5,61
E.EXP	24	1,309	0,055				

CV: 8,47%

NS: No significativo ni al 1% ni al 5% de error para la prueba Fisher.

***** : Significativo al 5% de error para la prueba Fisher.

****:** Significativo al 1% de error para la prueba Fisher.

En el análisis de la tabla 11, se aprecia que existe alta significación estadística para tratamientos, factores A, B y C; e interacciones (AxB), (AxC) y (BxC); y la interacción (AxBxC). Es decir, que la resistencia a la tensión de las películas depende de la cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano utilizados en la formulación. Al existir diferencia significativa se procedió a realizar las pruebas de TUKEY para tratamientos y DMS para los factores A, B y C.

Tabla 12: Prueba de TUKEY al 5% para la resistencia a la tracción

Tratamientos	Medias	Rangos
T1	8,09	a
T3	6,28	b
T4	6,11	b
T2	3,36	c
T12	1,90	d
T7	1,85	d
T6	1,52	e
T8	1,50	e
T5	0,87	f
T10	0,59	f
T9	0,54	f
T11	0,48	f

Al realizar la prueba de Tukey (5%) se observa que los tratamientos presentan rangos diferentes, lo que significa que existe diferencia estadística entre las medias calculadas debido a la variación de la cantidad de aceite de orégano y del tipo y cantidad de plastificante (glucosa o glicerol); por lo tanto, se afirma que la formulación de la envoltura sí influye significativamente en la resistencia a la tensión. El mejor tratamiento es T1 (20% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 60% celulosa microcristalina), ya que presenta la mayor resistencia a la tracción con 8.09MPa; seguidos por T3 (30% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina) y T4 (30% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina), con 6,28Mpa y 6,11MPa respectivamente. Con lo que se observa que a mayor porcentaje de celulosa, la resistencia a la tensión de las envolturas es mayor; así como también, se puede afirmar que el uso de glucosa líquida como plastificante brinda a las envolturas mayor tenacidad.

Tabla 13: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor A (tipo de plastificante)

Factores	Medias	Rangos
A1	4,37	a
A2	1,14	b

Al realizar la prueba de DMS para el factor A se puede afirmar que A1 (glucosa líquida) es el mejor nivel, es decir, que la resistencia de las envolturas depende del tipo de plastificante utilizado en la formulación.

Tabla 14: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor B (cantidad de plastificante)

Factores	Medias	Rangos
B1	3,7	a
B2	3,38	b
B3	1,19	c

Al realizar la prueba de DMS para el factor B se puede evidenciar que B1 (20% de plastificante) es el mejor nivel, es decir, que la tenacidad de las envolturas depende de la cantidad de plastificante utilizado en la formulación; a menor cantidad de plastificante, será mayor la resistencia.

Tabla 15: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor C (cantidad de aceite de orégano)

Factores	Medias	Rangos
C1	3,13	a
C2	2,39	b

Al realizar la prueba de DMS para el factor C se puede afirmar que C1 (10% de aceite de orégano) es el mejor nivel, es decir, que la resistencia a la tensión de las envolturas depende de la cantidad del ácido graso utilizado en la formulación, siendo inversamente proporcional.

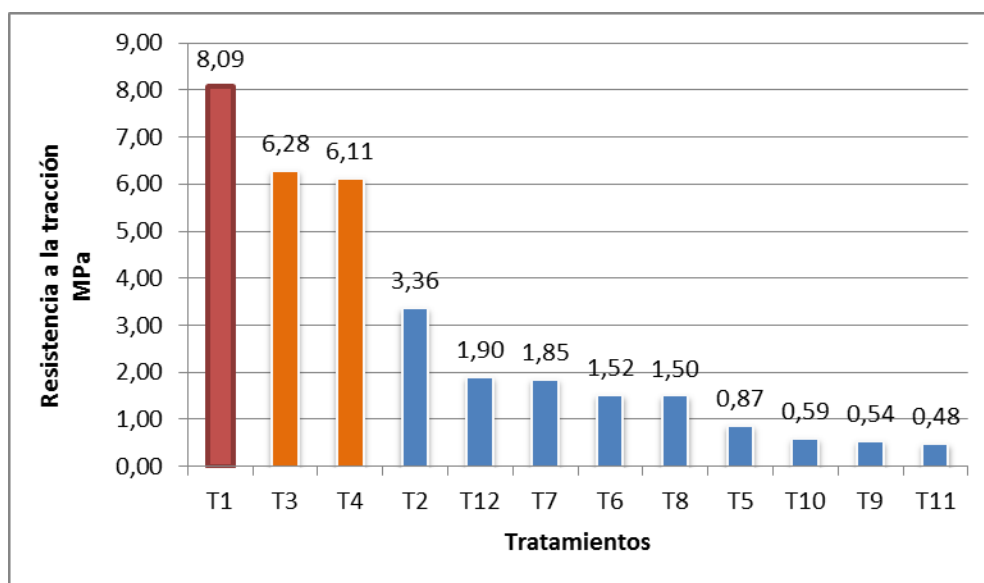


Gráfico 9: Representación de la resistencia a la tracción

El Gráfico 9 muestra que el mejor tratamiento es T1 (20% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 60% celulosa microcristalina), ya que presenta la mayor resistencia a la tensión con 8,09MPa; seguido por los tratamientos T3 (30% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina) y T4 (30% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina). En pruebas realizadas por Muñoz (2014), a películas a partir de almidón de maíz, almidón de yuca y glicerol, presentó una resistencia a la tracción de 4,34MPa; mientras que Morales (2014), obtuvo biopolímeros de almidón modificado de yuca con valores de 5,56MPa; lo cual indica que las envolturas de celulosa microcristalina poseen una estructura rígida que ayudan mantener la integridad del producto.

4.2.1.2 Elongación a la ruptura

Dentro de las propiedades mecánicas utilizadas para determinar la forma en que un material responde a la aplicación de una fuerza, no se refiere únicamente a conocer su resistencia, sino también es importante conocer lo que ocurre mientras se produce la ruptura de la película. Para ello se realizó pruebas de elongación, que indican el cambio de longitud máxima que se produce antes fracturarse la muestra; siendo esta la característica más significativa dentro de las cualidades de

las envolturas porque determinan su flexibilidad para adaptarse a las diferentes formas que presenta el alimento. En la siguiente tabla se detalla los valores obtenidos del porcentaje de elongación a la ruptura de las envolturas.

Tabla 16: Datos de elongación a la ruptura

	<i>tra/rep</i>	I	II	III	Σt	MEDIA
T1	A1B1C1	0,90	0,70	1,27	2,87	0,96
T2	A1B1C2	5,05	6,36	4,90	16,30	5,43
T3	A1B2C1	1,66	1,91	1,44	5,01	1,67
T4	A1B2C2	16,64	14,29	16,86	47,79	15,93
T5	A1B3C1	53,89	51,1935	49,28	154,36	51,45
T6	A1B3C2	35,41	33,97	30,18	99,56	33,19
T7	A2B1C1	4,78	6,31	5,9003	16,99	5,66
T8	A2B1C2	9,41	10,25	8,77	28,43	9,48
T9	A2B2C1	40,15	37,06	37,49	114,70	38,23
T10	A2B2C2	26,98	27,03	28,02	82,04	27,35
T11	A2B3C1	31,14	28,55	30,25	89,95	29,98
T12	A2B3C2	4,89	4,05	4,26	13,20	4,40
	Σr	230,91	221,67	218,62	671,20	18,64

Tabla 17: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable elongación a la ruptura

<i>F de V</i>	gl	SC	CM	FC		Ft	
						0,05	0,01
TOTAL	35	9385,892					
TRATAMIENTO	11	9342,391	849,308	429,52	**	2,18	2,89
FA (tipo plastificante)	1	10,465	10,465	5,29	NS	4,26	7,82
FB (cantidad plastificante)	2	3647,253	1823,627	922,26	**	3,40	5,61
A X B	2	3667,691	1833,845	927,43	**	3,40	5,61
FC (cantidad ac. orégano)	1	259,037	259,037	131,00	**	4,26	7,82
A X C	1	274,392	274,392	138,77	**	4,26	7,82
B X C	2	1243,129	621,564	314,34	**	3,40	5,61
A X B X C	2	240,424	120,212	60,79	**	3,40	5,61
E.EXP	24	43,502	1,977				

CV: 7,22%

NS: No significativo ni al 1% ni al 5% de error para la prueba Fisher.

***** : Significativo al 5% de error para la prueba Fisher.

******: Significativo al 1% de error para la prueba Fisher.

En el análisis de la tabla 17, se aprecia que existe alta significación estadística para tratamientos, factores B y C; e interacciones (AxB), (AxC) y (BxC); y la interacción (AxBxC). Es decir, que el porcentaje de elongación del producto terminado depende de la cantidad de plastificante y ácido graso utilizados en la formulación. Al existir diferencia significativa se procedió a realizar las pruebas de TUKEY para tratamientos y DMS para los factores B y C.

Tabla 18: Prueba de TUKEY al 5% para el porcentaje de elongación a la ruptura

Tratamientos	Medias	Rangos
T6	51,45	a
T9	38,23	b
T5	33,19	c
T11	29,98	d
T10	27,34	d
T4	15,93	e
T8	9,48	f
T7	5,66	g
T2	5,44	h
T12	4,40	h
T3	1,67	i
T1	0,96	i

El porcentaje de elongación a la ruptura de las envolturas difiere estadísticamente al 5% entre los tratamientos, debido a la variación de la cantidad de aceite de orégano y del plastificante (glucosa o glicerol); por lo tanto, se puede afirmar que las cantidades de los componentes utilizados en la formulación de la envoltura si influye significativamente en su elasticidad. El mejor tratamiento es T6 (40% de

glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) ya que registró el mayor porcentaje de elongación con un valor promedio de 51,45%.

Tabla 19: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor B (cantidad de plastificante)

Factores	Medias	Rangos
B3	29,76	a
B2	20,79	b
B1	5,38	c

Al realizar la prueba de DMS para el factor B se puede afirmar que B3 (40% de plastificante) es el mejor nivel, es decir, que porcentaje de elongación a la ruptura de las envolturas depende de la cantidad de plastificante utilizado en la formulación; a mayor cantidad de plastificante, será mayor la deformación. La presencia de un plastificante disminuye las interacciones moleculares que pueden darse, aumentando una movilidad de las cadenas, formando filmes menos resistentes pero más elásticos (Muñoz, 2014).

Tabla 20: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor C (cantidad de aceite de orégano)

Factores	Medias	Rangos
C1	21,33	a
C2	15,96	b

Al realizar la prueba de DMS para el factor C se puede evidenciar que C1 (10% de aceite de orégano) es el mejor nivel, es decir, que porcentaje de elongación a la ruptura de las envolturas depende de la cantidad del ácido graso utilizado en la formulación; a mayor cantidad, será menor la deformación.

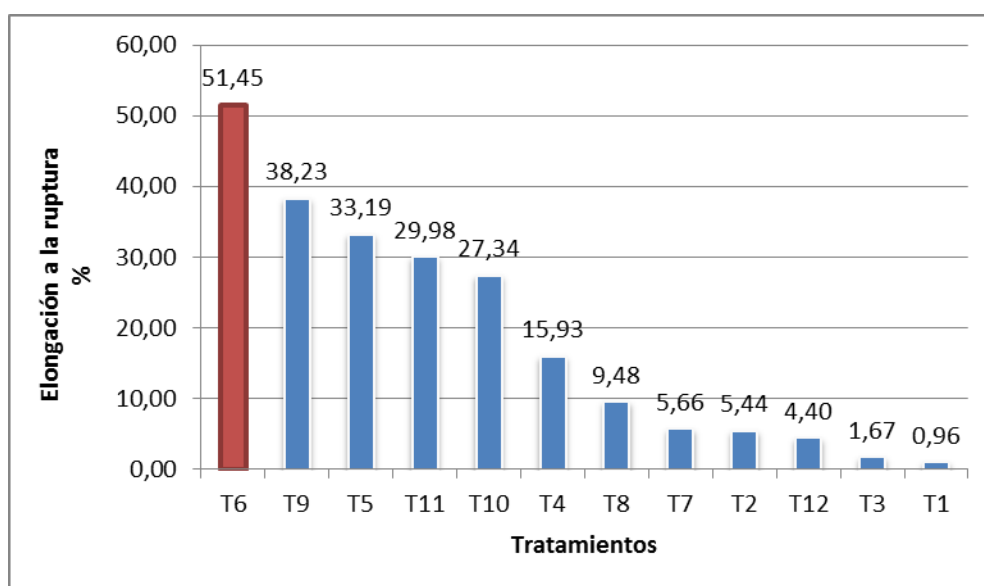


Gráfico 10: Representación del porcentaje de elongación a la ruptura

El gráfico 10 muestra que T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) es el mejor tratamiento, ya que registra el mayor porcentaje de elongación a la ruptura con 51,45%. Según Casariego, A., Díaz, R., & Sergrañes, Y. (2009), en pruebas realizadas a películas de quitosana y distintos tipos de plastificantes, mencionan que las propiedades mecánicas de las películas muestran como tendencia general una disminución del esfuerzo tensil y un incremento de la elongación, con el aumento de la concentración de plastificante, independientemente del tipo de plastificante.

Dentro de la evaluación de las propiedades mecánicas de las películas, se considera el porcentaje de elongación como la característica más relevante y a partir de la cual se estableció los 5 tratamientos que proporcionan cualidades adecuadas para cumplir con el objetivo de la investigación de obtener envolturas mecánicamente funcionales para su uso como empaque primario en alimentos.

Tabla 21: Descripción de los 5 mejores tratamientos

Tratamiento	Descripción	Elongación a la ruptura (%)
T6	40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina	51,45
T9	30% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina	38,23
T5	40% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 30% celulosa microcristalina	33,19
T11	40% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina	29,98
T10	30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina	27,34

4.2.2 Análisis del grado de transmisión de vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua de las películas elaboradas a base de biopolímeros es una propiedad determinante que permite precisar el uso a las que deben estar destinadas las envolturas como material de envase. En la mayoría de los casos se requiere que el material de empaque posea alta barrera contra la humedad, evitando pérdidas de peso por deshidratación; sin embargo, existen ciertos vegetales que necesitan polímeros de barrera modulada las cuales les permita la respiración del producto. Por lo cual, el grado de transmisión permite cuantificar la facilidad con la que el vapor de agua puede traspasar en un material. En la siguiente tabla se detalla los valores obtenidos de las envolturas.

Tabla 22: Datos del grado de transmisión de vapor de agua

	<i>tra/rep</i>	I	II	III	Σt	MEDIA
T1	A1B1C1	0,90	0,70	1,27	2,87	0,96
T2	A1B1C2	5,05	6,36	4,90	16,30	5,43
T3	A1B2C1	1,66	1,91	1,44	5,01	1,67
T4	A1B2C2	16,64	14,29	16,86	47,79	15,93
T5	A1B3C1	53,89	51,1935	49,28	154,36	51,45
T6	A1B3C2	35,41	33,97	30,18	99,56	33,19
T7	A2B1C1	4,78	6,31	5,9003	16,99	5,66
T8	A2B1C2	9,41	10,25	8,77	28,43	9,48
T9	A2B2C1	40,15	37,06	37,49	114,70	38,23
T10	A2B2C2	26,98	27,03	28,02	82,04	27,35
T11	A2B3C1	31,14	28,55	30,25	89,95	29,98
T12	A2B3C2	4,89	4,05	4,26	13,20	4,40
	Σr	230,91	221,67	218,62	671,20	18,64

Tabla 23: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable grado de transmisión de vapor de agua

<i>F de V</i>	GI	SC	CM	FC		Ft	
						0,05	0,01
TOTAL	35	0,059					
TRATAMIENTO	11	0,051	0,005	13,86	**	2,18	2,89
FA (tipo plastificante)	1	0,044	0,044	132,68	**	4,26	7,82
FB (cantidad plastificante)	2	0,001	0,000	0,84	NS	3,40	5,61
A X B	2	0,002	0,001	3,01	NS	3,40	5,61
FC (cantidad ac. orégano)	1	0,000	0,000	0,00	NS	4,26	7,82
A X C	1	0,002	0,002	5,14	*	4,26	7,82
B X C	2	0,001	0,000	1,05	NS	3,40	5,61
A X B X C	2	0,002	0,001	2,41	NS	3,40	5,61
E.EXP	24	0,008	0,000				

CV: 7,04%

NS: No significativo ni al 1% ni al 5% de error para la prueba Fisher.

***** : Significativo al 5% de error para la prueba Fisher.

******: Significativo al 1% de error para la prueba Fisher.

Al realizar el análisis de la tabla 23, se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos. También se puede apreciar una diferencia estadística altamente significativa (1%) para el factor A (tipo de plastificante) y significación al 5% para la interacción A x C. Por lo que se efectuó la prueba de Tukey para tratamientos y Diferencia Mínima Significativa para el factor A.

Tabla 24: Prueba de TUKEY al 5% para el grado de transmisión de vapor de agua

Tratamientos	Medias	Rangos
T2	0,20	a
T4	0,21	a
T6	0,23	b
T3	0,23	b
T1	0,23	b
T5	0,24	c
T11	0,27	d
T12	0,28	d
T9	0,29	d
T7	0,30	d
T8	0,30	d
T10	0,32	d

El grado de transmisión de vapor de agua de las envolturas difiere estadísticamente al 5% entre los tratamientos, debido a la variación de la cantidad de aceite de orégano y del tipo y cantidad de plastificante (glucosa o glicerol); por lo tanto, se puede afirmar que la formulación de la envoltura si influye significativamente en la permeabilidad al vapor de agua. Entre T2 y T4 y entre T6, T3 y T1, así como también todos los tratamientos que contienen glicerol no existe diferencia estadística. El mejor tratamiento es T2 ya que registró menor permeabilidad efectiva con un valor promedio de 0,20 g/h m².

Tabla 25: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor A (tipo de plastificante)

Factores	Medias	Rangos
A1	0,22	a
A2	0,29	b

Al realizar la prueba de DMS para el factor A se puede afirmar que A1 (glucosa líquida) es el mejor nivel, es decir, que el grado de permeabilidad de las envolturas depende del tipo de plastificante utilizado en la formulación, ya que se disminuye las fuerzas intermoleculares entre las cadenas del biopolímero e incrementando el volumen libre, con lo que se produce más espacio provocando que la transmisión de vapor de agua sea mayor.

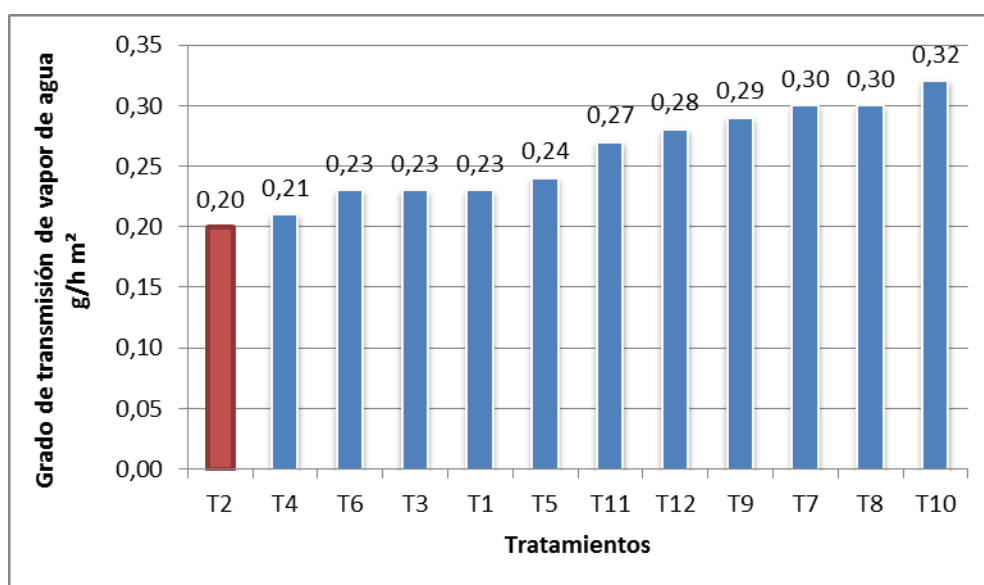


Gráfico 11: Representación del grado de transmisión de vapor de agua

El gráfico 11 muestra que T2 (20% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina) y T4 (30% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) son los mejores tratamientos, ya que poseen los menores registros del grado de transmisión de vapor de agua con 0,20 y 0,21 g/hm². En comparación con investigaciones realizadas por Rojas (2010) utilizando zeína y aceite de orégano, quien obtuvo datos de 0,52 g/hm², se puede afirmar que estos tratamientos poseen

propiedades de barrera adecuadas para su uso en el envasado de alimentos, ya que gracias a su baja permeabilidad es menor la pérdida de humedad, con lo cual no se produciría cambios en sus características sensoriales, morfológicas, físicas y químicas del producto.

4.2.3 Análisis de solubilidad en agua

La determinación del material soluble en agua de las películas es una propiedad relevante, ya que permite identificar el uso al que pueden estar destinadas dentro del envasado de los productos; como en la mayoría de los casos, donde se requiere que la solubilidad de las envolturas sea baja durante el almacenamiento, para asegurar la integridad del alimento y la resistencia a la humedad presente en el ambiente. Los resultados del porcentaje de solubilidad en el agua de las envolturas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 26: Datos del porcentaje de solubilidad en el agua

	<i>tra/rep</i>	I	II	III	Σt	MEDIA
T1	A1B1C1	0,22	0,22	0,26	0,70	0,23
T2	A1B1C2	0,21	0,19	0,21	0,62	0,21
T3	A1B2C1	0,24	0,22	0,24	0,70	0,23
T4	A1B2C2	0,21	0,19	0,23	0,63	0,21
T5	A1B3C1	0,23	0,22	0,23	0,67	0,22
T6	A1B3C2	0,23	0,25	0,23	0,70	0,23
T7	A2B1C1	0,29	0,29	0,31	0,89	0,30
T8	A2B1C2	0,31	0,27	0,33	0,90	0,30
T9	A2B2C1	0,29	0,28	0,29	0,86	0,29
T10	A2B2C2	0,33	0,32	0,31	0,96	0,32
T11	A2B3C1	0,28	0,26	0,28	0,83	0,28
T12	A2B3C2	0,24	0,28	0,31	0,84	0,28
	Σr	3,06	3,00	3,24	9,30	0,26

Tabla 27: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable solubilidad en el agua

<i>F de V</i>	GI	SC	CM	FC		Ft	
						0,05	0,01
TOTAL	35	7332,28					
TRATAMIENTO	11	7211,05	655,55	129,78	**	2,18	2,89
FA (tipo plastificante)	1	3808,60	3808,60	753,99	**	4,26	7,82
FB (cantidad plastificante)	2	2613,20	1306,60	258,67	**	3,40	5,61
A X B	2	138,05	69,03	13,67	**	3,40	5,61
FC (cantidad ac. orégano)	1	292,24	292,24	57,86	**	4,26	7,82
A X C	1	17,52	17,52	3,47	NS	4,26	7,82
B X C	2	115,86	57,93	11,47	**	3,40	5,61
A X B X C	2	225,58	112,79	22,33	**	3,40	5,61
E.EXP	24	121,23	5,51				

CV: 5,65 %

NS: No significativo ni al 1% ni al 5% de error para la prueba Fisher.

***** : Significativo al 5% de error para la prueba Fisher.

******: Significativo al 1% de error para la prueba Fisher.

Al realizar el análisis de la tabla 27, se puede apreciar una diferencia altamente significativa para tratamientos, para el factor A (tipo de plastificante), factor B (cantidad de plastificante), factor C (cantidad de aceite de orégano) y para las interacciones A x B, B x C y la interacción de los tres factores (A x B x C), es decir que la solubilidad del producto final depende de los tres factores.

Al existir significación estadística se realizó las pruebas de Tukey (5%) para tratamientos y DMS para el factor A (tipo de plastificante), factor B (cantidad de plastificante), factor C (cantidad de aceite de orégano).

Tabla 28: Prueba de TUKEY al 5% para la variable solubilidad en el agua

Tratamientos	Medias	Rangos
T1	12,82	a
T2	20,18	b
T3	25,57	b
T7	33,79	c
T4	34,52	c
T5	40,14	d
T6	43,53	e
T8	47,96	f
T10	51,19	f
T11	52,44	f
T9	53,22	f
T12	61,59	g

En la tabla de prueba de Tukey (5%) se observa que los tratamientos presentan rangos diferentes, es decir que existe diferencia estadística entre sus medias calculadas, debido a la variación de la cantidad de aceite de orégano y del tipo y cantidad de plastificante (glucosa o glicerol); por lo tanto, se puede afirmar que la formulación de la envoltura si influye en significativamente en su solubilidad. El mejor tratamiento es T1, ya que presenta el menor porcentaje de solidos solubles en el agua con 12,82%; seguidos por los tratamientos T2 y T3, que son los que mayor contenido de celulosa microcristalina poseen, con lo que se puede afirmar que a mayor porcentaje de celulosa, la solubilidad de las envolturas es menor.

Tabla 29: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor A (tipo de plastificante)

Factores	Medias	Rangos
A1	29,46	a
A2	50,03	b

Al realizar la prueba de DMS para el factor A se puede observar que A1 (glucosa líquida) es el mejor nivel, es decir, que la solubilidad en agua de las envolturas depende del tipo de plastificante utilizado en la formulación.

Tabla 30: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor B (cantidad de plastificante)

Factores	Medias	Rangos
B1	28,69	a
B2	41,12	b
B3	49,42	c

Al realizar la prueba de DMS para el factor B se puede evidenciar que B1 (20% de plastificante) es el mejor nivel, es decir, que la solubilidad en agua de las envolturas depende de la cantidad del plastificante utilizado en la formulación; a menor cantidad de plastificante, será menor la solubilidad en agua.

Tabla 31: Prueba de diferencia mínima significativa para el factor C (cantidad de aceite de orégano)

Factores	Medias	Rangos
C1	36,93	a
C2	42,6	b

Al realizar la prueba de DMS para el factor C se puede afirmar que C1 (10% de aceite de orégano) es el mejor nivel, es decir, que la solubilidad en agua de las envolturas depende de la cantidad del ácido graso utilizado en la formulación, siendo directamente proporcional.

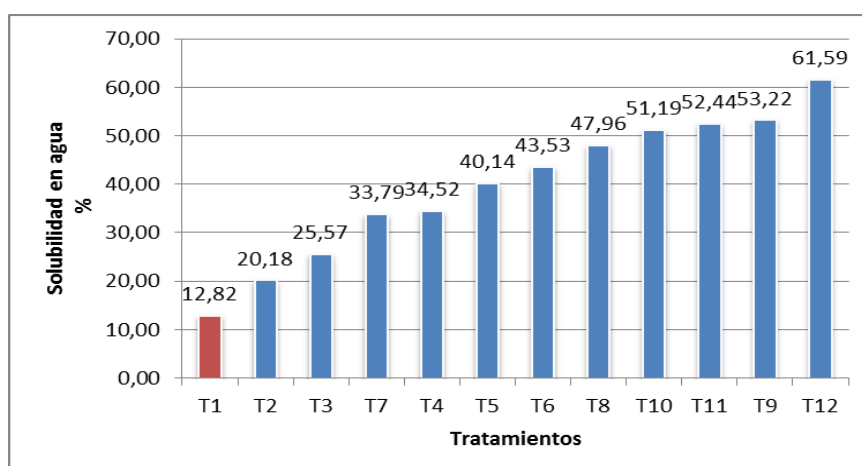


Gráfico 12: Representación de la solubilidad en el agua

El gráfico 12 muestra que T1 (20% glucosa líquida, 10% aceite de orégano, 10% de gelatina, 60% celulosa microcristalina) es el mejor tratamiento, ya que posee el menor registro de solubilidad en agua con el 12,82%. Esto muestra que el alto contenido de celulosa microcristalina que posee la envoltura, la hace insoluble al agua debido a las características propias del polímero. En pruebas realizadas por Muñoz (2014), a películas a partir de almidón de maíz, almidón de yuca y glicerol, presentó una solubilidad del 43%; mientras que Morales (2014), obtuvo biopolímeros de almidón modificado de yuca con 21,58% de solubilidad; lo cual indica que las envolturas de celulosa microcristalina poseen características óptimas que ayudan a mantener la integridad del producto que lo contenga.

4.2.4 Análisis de color

El color es considerado un parámetro importante en la caracterización de las envolturas, ya que está directamente relacionado con los materiales estructurales utilizada en la elaboración de las mismas; además, para una buena presentación visual del producto, es deseable que las películas sean transparentes y de color claro, aunque no es un factor limitante para su uso. Luego de medir y calcular la diferencia total del color, se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 32: Datos de diferencia de color

	<i>tra/rep</i>	I	II	III	Σt	MEDIA
T1	A1B1C1	81,02	81,02	81,74	243,78	81,26
T2	A1B1C2	99,41	78,95	80,69	259,05	86,35
T3	A1B2C1	80,71	81,49	80,24	242,44	80,81
T4	A1B2C2	79,23	80,64	79,86	239,73	79,91
T5	A1B3C1	79,38	79,9045	79,73	239,02	79,67
T6	A1B3C2	79,94	78,93	79,93	238,80	79,60
T7	A2B1C1	80,12	79,95	81,0614	241,13	80,38
T8	A2B1C2	79,54	79,17	79,14	237,86	79,29
T9	A2B2C1	80,60	79,40	79,55	239,54	79,85
T10	A2B2C2	79,12	79,09	79,20	237,40	79,13
T11	A2B3C1	76,92	79,50	78,72	235,14	78,38
T12	A2B3C2	77,86	78,00	78,10	233,96	77,99
	Σr	973,85	956,03	957,97	2887,85	80,22

Tabla 33: Análisis de Varianza (ADEVA) para la variable color

<i>F de V</i>	gl	SC	CM	FC		Ft	
						0,05	0,01
TOTAL	35	416,628					
TRATAMIENTO	11	151,166	13,742	1,14	NS	2,18	2,89
FA (tipo plastificante)	1	39,652	39,652	3,29	NS	4,26	7,82
FB (cantidad plastificante)	2	52,307	26,154	2,17	NS	3,40	5,61
A X B	2	16,325	8,162	0,68	NS	3,40	5,61
FC (cantidad ac. orégano)	1	0,918	0,918	0,08	NS	4,26	7,82
A X C	1	9,965	9,965	0,83	NS	4,26	7,82
B X C	2	13,191	6,595	0,55	NS	3,40	5,61
A X B X C	2	18,807	9,404	0,78	NS	3,40	5,61
E.EXP	24	265,463	12,066				

CV: 4,33 %

NS: No significativo ni al 1% ni al 5% de error para la prueba Fisher.

***** : Significativo al 5% de error para la prueba Fisher.

******: Significativo al 1% de error para la prueba Fisher.

El análisis de la tabla 26 se puede apreciar que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los factores y los tratamientos, por lo que se puede afirmar que la combinación de los factores A (tipo de plastificante) B (cantidad de plastificante) y C (cantidad de aceite de orégano) no afectan en la diferencia de color del producto final para los tratamientos y cada uno de los factores.

Tabla 34: Datos del color de las envolturas


TRATAMIENTOS	L*	a*	b*
T1R1	99,487	-0,685	0,066
T1R2	99,487	-0,585	0,029
T1R3	100,184	-0,515	0,271
T2R1	99,344	-2,263	2,788
T2R2	97,104	-3,066	4,165
T2R3	99,069	-1,402	1,649
T3R1	98,695	-4,417	5,305
T3R2	99,457	-3,761	6,090
T3R3	98,298	-3,605	5,096
T4R1	97,432	-2,949	3,611
T4R2	98,598	-4,217	5,795
T4R3	98,039	-3,053	3,864
T5R1	97,279	-3,664	6,669
T5R2	98,120	-2,295	3,922
T5R3	97,886	-3,308	4,078
T6R1	98,311	-1,394	1,735
T6R2	97,318	-1,183	1,319
T6R3	98,228	-2,206	2,654
T7R1	98,408	-1,997	2,966
T7R2	98,228	-2,296	2,955
T7R3	99,330	-2,700	2,786
T8R1	97,783	-3,092	2,826
T8R2	95,732	-8,949	12,440
T8R3	95,617	-9,320	12,656
T9R1	98,351	-4,968	7,315
T9R2	97,016	-5,916	7,634
T9R3	97,106	-6,367	7,793
T10R1	95,671	-8,885	12,521
T10R2	96,082	-7,731	10,768
T10R3	96,819	-5,508	7,905
T11R1	94,379	-6,792	7,994
T11R2	95,377	-10,949	14,487
T11R3	95,893	-7,740	9,555
T12R1	95,211	-6,155	9,424
T12R2	94,975	-7,763	10,756
T12R3	95,080	-7,288	11,041

La tabla 34 muestra que todas las envolturas presentan rangos de luminosidad (L) entre 94,38 y 100,84, por lo que se les consideran claras, ya que mientras más se aproximen a cero las películas son más oscuras. En cuanto a los valores de cromaticidad a^* son negativos y próximos a cero. Con respecto al valor de b^* son positivos en todas las películas, presentando una coloración amarilla; esta tonalidad se debe a la reacción de Maillard; la cual, según Morales (2014) se lleva a cabo entre el grupo amino libre de la proteína presente en la gelatina y el grupo carbonilo del glicerol, formando pigmentos marrones, similares a los percibidos en las películas de harina de quinua y yuca modificada.

4.3 Análisis de las variables cualitativas de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar

4.3.1 Análisis microscópico

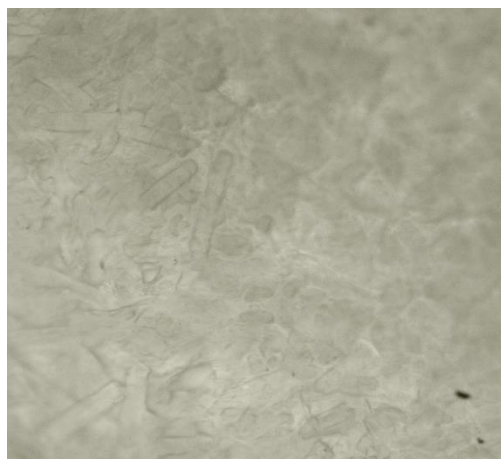
En el gráfico 13 se presentan micrografías de la superficie de los cinco mejores tratamientos, tomadas en un microscopio óptico a un aumento de 10X.

TRATAMIENTO	MICROGRAFÍA
T5: 40% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 30% celulosa microcristalina	

T6: 40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina



T9: 30% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina



T10: 30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina



T11: 40% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina



Gráfico 13: Micrografías de la superficie de la formulación 4 obtenidas a través de microscopio óptico a un aumento de 10X

El gráfico 13 muestra las micrografías de la superficie de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar, las cuales presentan una estructura homogénea, firme y densa en general; además, se observó que la superficie del tratamiento 9 es mayormente compacta, ya que las fibras de la celulosa se encuentran más adheridas, esto se debe a que la formulación de esta muestra está compuesta en su mayoría por celulosa microcristalina en comparación con los demás elementos; así como también, se determinó que el tratamiento 5 presenta una estructura menos densa y se puede apreciar las fibras más claramente gracias a la menor cantidad de celulosa que poseen en su composición.

4.3.2 Análisis microbiológico del producto terminado

Se realizaron a los cinco mejores tratamientos obtenidos al final del experimento de la elaboración de envolturas comestibles considerando los análisis de las variables cuantitativas.

Tabla 33: Análisis microbiológico

PARÁMETROS ANALIZADOS	UNIDAD	RESULTADOS					LÍMITE PERMISIBLE	MÉTODO DE ENSAYO
		T6	T9	T5	T11	T10		
Recuento de mohos	Upm/g	410	1200	550	750	560	$1,0 \times 10^3$	AOAC 997.02
Recuento de levaduras	Upl/g	800	780	630	820	400	$1,0 \times 10^3$	

Upm/g: Unidad propagadoras de mohos por gramo.

Upl/g: Unidad programada de levaduras por gramo.

Para determinar la calidad microbiológica de las envolturas se tomó como referencia la NORMA NTE INEN 2996 para PRODUCTOS DESHIDRATADOS, debido a que el producto es nuevo y no existe norma alguna; por lo cual, el análisis microbiológico realizado no determinó el tiempo de vida útil del producto para su comercialización.

Los análisis demuestran que las envolturas están libres de microorganismos aerobios, por lo que es apta para el consumo y garantizó la inocuidad del producto para realizar los análisis organolépticos. El resultado de los análisis microbiológicos se encuentra en el Anexo IX.

4.3.3 Análisis organoléptico del producto terminado

El análisis sensorial del producto terminado fue realizado con el fin de evaluar la aceptabilidad de las envolturas comestibles por parte del consumidor, tomando en cuenta para este efecto a los cinco tratamientos más destacados de entre las pruebas mecánicas que fueron determinadas en las variables cuantitativas.

Color

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial, se encuentran detallados en el anexo X.

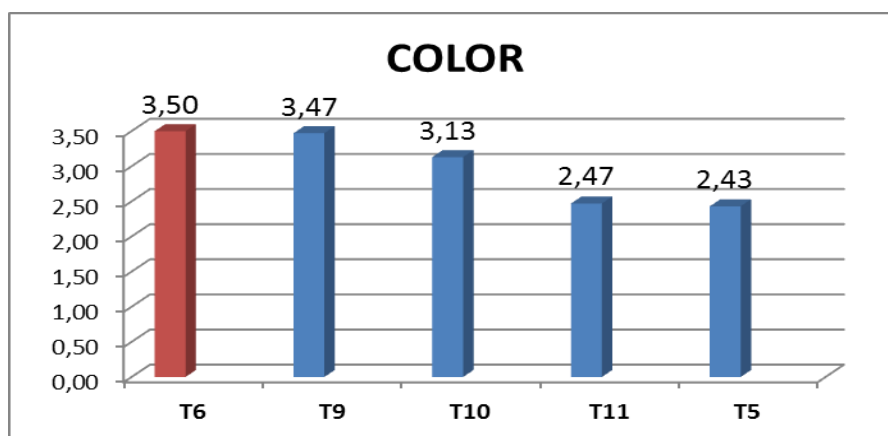


Gráfico 14: Promedio de la variable color

El gráfico 14 muestra que T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo en la variable color por el panel degustador, seguido por T9 (30% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina), ya que presentan un color más claro en comparación con las demás muestras.

Aspecto

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial, se encuentran detallados en el anexo X.

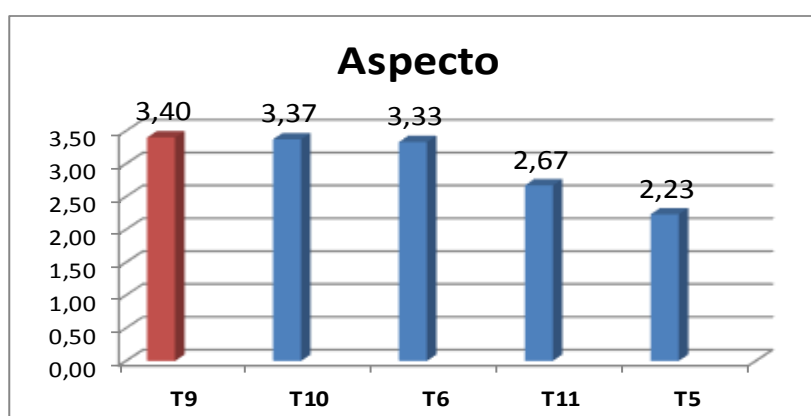


Gráfico 15: Promedio de la variable aspecto

El gráfico 15 muestra que T9 (30% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina) es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo en la variable aspecto por el panel degustador, seguido por T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina), ya que presentan una superficie más uniforme y sin asperezas en comparación con las demás muestras.

Olor

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial, se encuentran detallados en el anexo X.

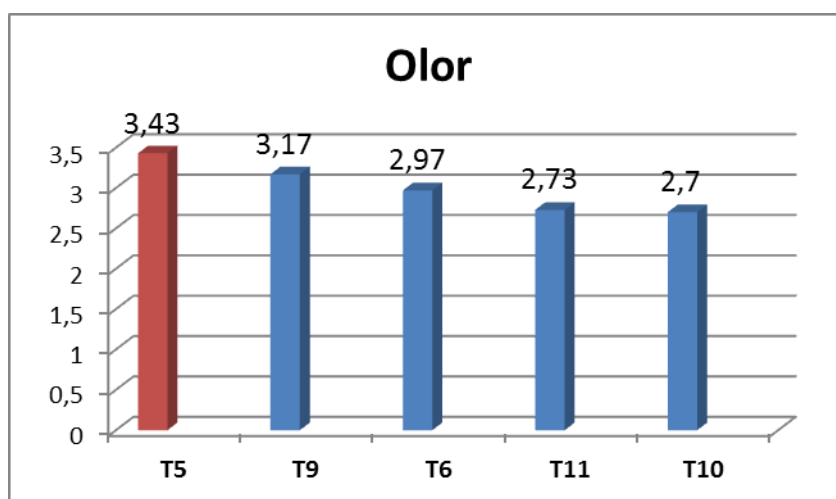


Gráfico 16: Promedio de la variable olor

El gráfico 16 muestra que T5 (40% de glucosa líquida, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 30% celulosa microcristalina) es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo en la variable olor por el panel degustador, seguido por T9 (30% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 50% celulosa microcristalina), ya que presentan un olor casi inapreciable en comparación con las demás muestras.

Sabor

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial, se encuentran detallados en el anexo X.

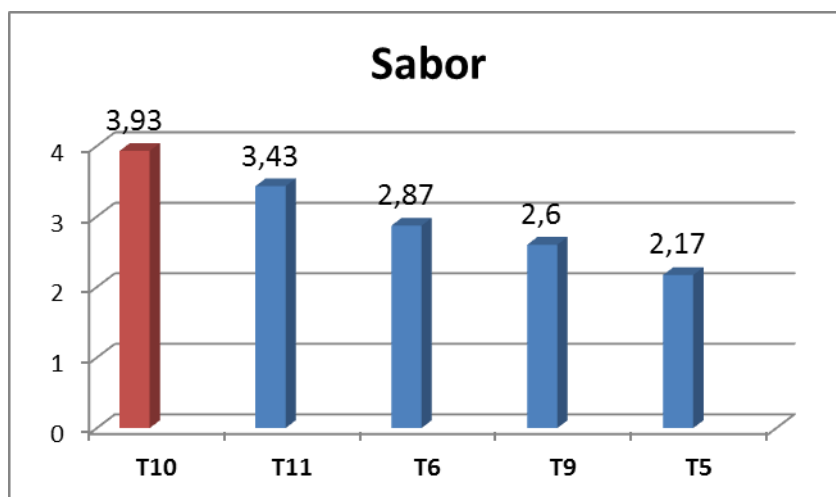


Gráfico 17: Promedio de la variable sabor

El gráfico 17 muestra que T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo en la variable sabor por el panel degustador, seguido por T11 (40% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina), ya que presentan agradable sabor en comparación con las demás muestras que presentaron cierto grado de amargor.

Solubilidad en la boca

Los rangos tabulados luego de la evaluación sensorial, se encuentran detallados en el anexo X.

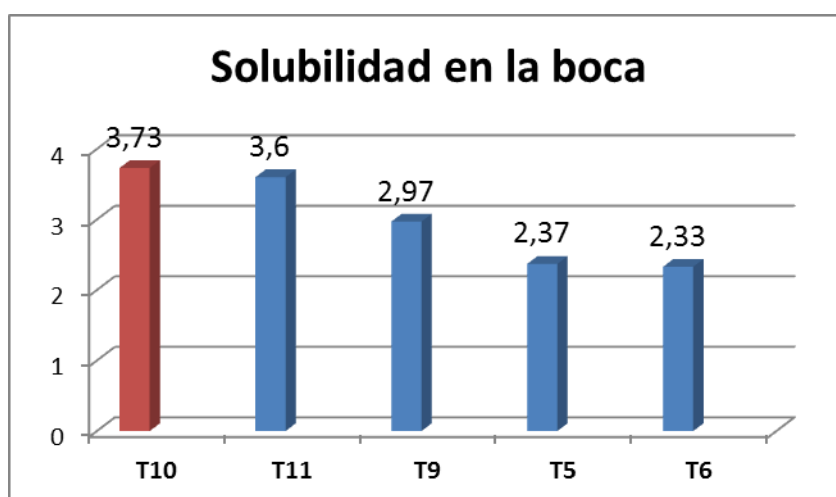


Gráfico 18: Promedio de la variable solubilidad en la boca

El gráfico 18 muestra que T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) es el tratamiento que más aceptabilidad tuvo en la variable solubilidad en la boca por el panel degustador, seguido por T11 (40% de glicerol, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina), ya que fácilmente fueron solubilizadas en comparación con las demás muestras que presentaron cierto grado dificultad al disolverse.

Con la finalidad de determinar si existe o no significación estadística en las variables de la evaluación sensorial, se realizó el análisis de FRIEDMAN al 5% y 1% como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 34: Análisis de FRIEDMAN para las variables de la evaluación sensorial

VARIABLE	VALOR		VALOR	VALOR	TRATAMIENTOS
	CALCULADO χ^2		TABULAR 5%	TABULAR 1%	
Color	6,55	*	0,71	13,27	T6 T9 T10
Aspecto	6,63	*	0,71	13,27	T9 T10 T6
Olor	2,27	*	0,71	13,27	T5 T9 T6
Sabor	11,59	*	0,71	13,27	T10 T11 T6
Solubilidad en la boca	10,47	*	0,71	13,27	T10 T11 T9

En el análisis de Friedman se determinó que las variables color, aspecto, olor, sabor y solubilidad en la boca tuvieron significación estadística al 5 %, esto quiere decir que todos los tratamientos son estadísticamente diferentes para el panel de degustadores.

Además, una vez realizado el análisis organoléptico se observó que T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) y T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) son los tratamientos que presenta las mejores características en cuanto a las variables analizadas, constituyéndose los 2 mejores tratamientos.

4.3.1 Análisis fisicoquímicos

Realizado el análisis sensorial, se determinó los dos mejores tratamientos los cuales fueron sometidos a análisis físico-químico.

Ver anexo XI.

Tabla 35: Análisis físico – químico para los dos mejores tratamientos

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	
			T10	T6
Fibra	AOAC 978.10	%	26,00	28,00
Proteína total	AOAC 920.87	%	9,50	8,41
Carbohidratos totales	Cálculo	%	64,23	78,54
Humedad	AOAC 925.10	%	25,48	11,00
Cenizas	AOAC 923.03	%	0,45	0,10

Los resultados del contenido de la envoltura comestible indican valores variables debido a la composición de cada uno de los tratamientos; además, se observa que el porcentaje de carbohidratos totales varía dependiendo del plastificante utilizado (glucosa líquida o glicerol) en las películas, donde el tratamiento T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina), tiene mayor porcentaje equivalente a 78,54. En cuanto al

contenido de proteína el T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina), presenta el porcentaje más alto con 9,50; debido a la formulación de la mezcla.

4.4 Balance de materiales para los dos mejores tratamientos de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar

4.3.1 Balance de materiales para el tratamiento 10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina)



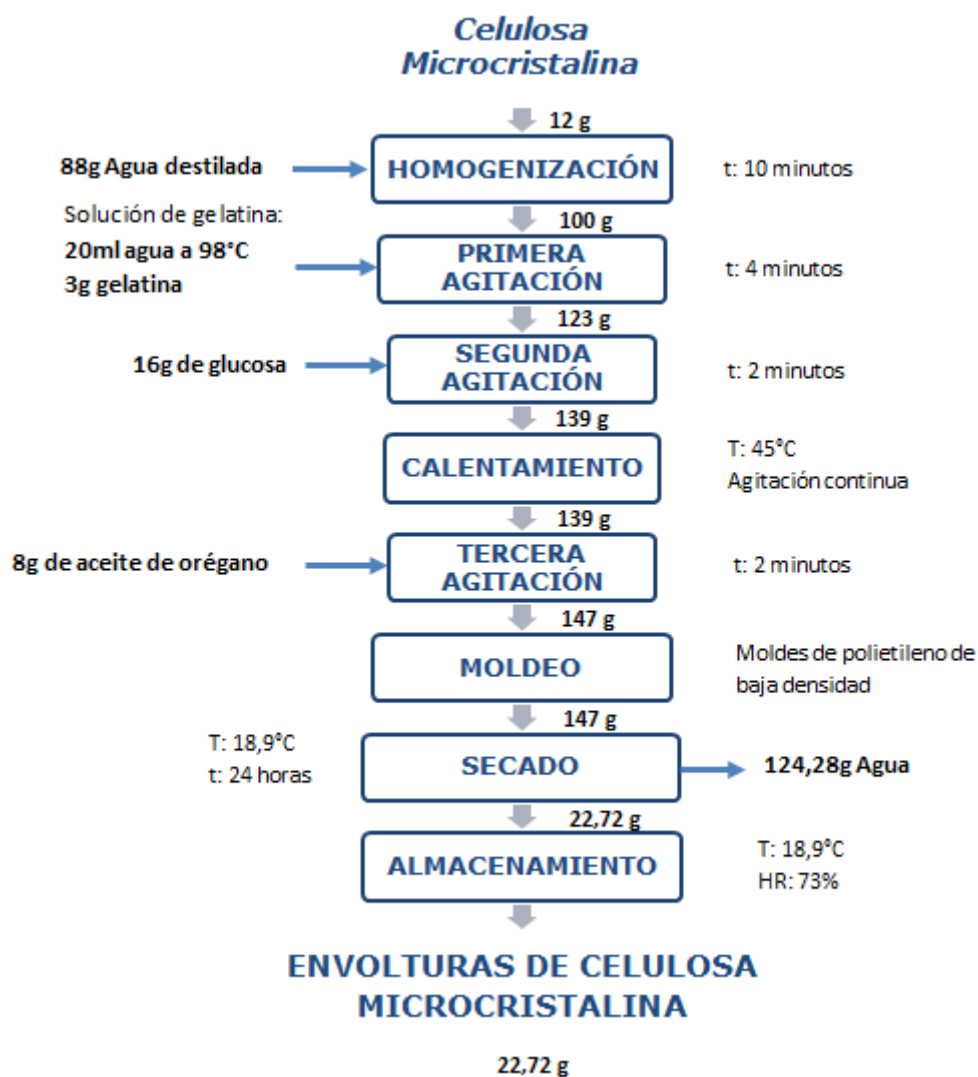
Rendimiento: $PP/PT \cdot 100$

Rendimiento: $24,48/130 \cdot 100$

Rendimiento: 18,83%

Luego de realizar el balance de materiales, se afirma que por cada 130 g de solución se obtiene alrededor de 24,48 g de envolturas comestibles, equivalente a 16 unidades, cada una con un peso aproximado de 1,53 g y un porcentaje del 18,83 % de rendimiento para este tratamiento.

4.3.2 Balance de materiales para el tratamiento 6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina)



Rendimiento: $PP/PT \cdot 100$

Rendimiento: $22,72/139 \cdot 100$

Rendimiento: 16,02%

Luego de realizar el balance de materiales, se afirma que por cada 139 g de solución se obtiene alrededor de 22,72 g de envolturas comestibles, equivalente a 16 unidades, cada una con un peso aproximado de 1,42 g y un porcentaje del 16,02 % de rendimiento para este tratamiento.

4.5 Costos de producción para los dos mejores tratamientos de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar

4.5.1 Costos de producción para T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina)

Para producir 77g de envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar se ha realizado un balance de costos, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

		Unidades	Cantidad	Valor Total (Usd)
	Celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar	g	16,40	12,35
Rubros	Gelatina	g	4,10	0,10
	Glicerol	g	12,30	0,09
	Aceite de orégano	g	8,20	1,15
	Agua destilada	l	0,37	0,22
Otros	Luz	kwh	2,00	0,16
	Agua	m ³	0,10	0,09
			Total	14,16

Luego de realizar el análisis de costos de producción para el tratamiento 10, se determina que el precio de 77g de envolturas comestibles es de 14,16 USD; de las cuales, se obtiene alrededor de 50 unidades de con un peso aproximado de 1,53 g, es decir que cada envoltura comestible tiene un costo de 0,28 USD.

4.5.2 Costos de producción para T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina)

Para producir 77g de envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina del bagazo de caña de azúcar se ha realizado un balance de costos, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

		Unidades	Cantidad	Valor Total (Usd)
	Celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar	g	16,40	12,35
Rubros	Gelatina	g	4,10	0,10
	Glucosa líquida	g	16,4	0,05
	Aceite de orégano	g	4,10	0,57
	Agua destilada	l	0,37	0,22
Otros	Luz	kwh	2,00	0,16
	Agua	m ³	0,10	0,09
			Total	13,54

Luego de realizar el análisis de costos de producción para el tratamiento 6, se determina que el precio de 77g de envolturas comestibles es de 13,54 USD; de las cuales, se obtiene alrededor de 54 unidades de con un peso aproximado de 1,42 g, es decir que cada envoltura comestible tiene un costo de 0,25 USD. Los costos de producción de las envolturas resultan un tanto altos, en comparación con el precio de las fundas plásticas en las que se expenden los alimentos; esta variación se debe principalmente al valor de celulosa microcristalina obtenida del bagazo de

caña de azúcar, ya que su proceso de obtención fue a escala de laboratorio; sin embargo, tomando en cuenta el beneficio para el ambiente, el aprovechamiento e industrialización del bagazo de caña de azúcar el costo de que vale la pena pagarlo; tomando en cuenta que es un producto innovador, puede ingresar al mercado con gran facilidad y aceptabilidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- La caracterización fisicoquímica de la celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar mostró que el contenido de celulosa es de 81,79%, lignina 8,20%, cenizas 3,92%, humedad 6,10% y se presenta como polvo fino, casi blanco e inodoro, con lo cual, se determina que posee características similares a la celulosa que se encuentra comercialmente.
- El proceso químico aplicado al bagazo de caña de azúcar para la obtención de celulosa microcristalina presentó un rendimiento del 24,70%, con lo cual, se evidenció que la metodología no fue la adecuada, debido a las pérdidas por el desdoblamiento de la celulosa a glucosa.
- La combinación entre la cantidad de plastificante y aceite de orégano presentaron un efecto considerable en la resistencia a la tracción y solubilidad de las envolturas comestibles, ya que la variación de la cantidad de los componentes, aumenta la resistencia (8,09MPa) y disminuye la solubilidad (12,82%).
- La cantidad de plastificante fue el factor de mayor efecto sobre las propiedades mecánicas de las películas, donde el nivel más alto que fue de 40% permite una elongación a la ruptura de 51,45%; lo que indica que la flexibilidad de las envolturas depende directamente de la cantidad de plastificante utilizado.
- Las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar presentaron poca resistencia mecánica 1,52Mpa, alta elongación a la ruptura 51,45%, baja permeabilidad al vapor de agua 0,23g/hm², intermedia solubilidad al agua 43,53% y la coloración fue

clara, levemente amarilla en comparación con estudios realizados en películas de almidón modificado de yuca (Morales, 2014), zeína (Rojas, 2010) y almidón de maíz y yuca (Muñoz, 2014). Por lo que se concluye que el mejor tratamiento es T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) ya que posee características apropiadas para ser utilizadas como empaque de alimentos.

- Del análisis de resultados de las pruebas mecánicas de elongación a la ruptura del producto terminado, se concluye que los 5 mejores tratamientos fueron: T6, T5, T9, T10 Y T11, ya que presentan mayor elasticidad con valores entre 51,54% y 27,34%; con lo cual, se obtiene envolturas con flexibilidad para adaptarse a las diferentes formas que presente el alimento.
- De los análisis microbiológicos se pudo concluir que de acuerdo con los rangos establecidos en la NORMA INEN 2996 los 5 mejores tratamientos obtenidos son aptos para el consumo humano ya que cumple con los estándares de la norma.
- Del análisis estadístico de las pruebas organolépticas, se estableció que los mejores tratamientos son T10 (30% de glicerol, 20% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) y T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) de acuerdo a la prueba de Friedman.
- Los análisis fisicoquímicos demuestran que la envoltura tiene un considerable aporte de fibra con un 28% que se debe a la celulosa por su naturaleza de fibra y por la gelatina aporta un considerable porcentaje de proteína con 8,41%.
- La cantidad y tipo de plastificante (glucosa líquida o glicerol) y la cantidad de aceite de orégano influyen en las variables cuantitativas de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, considerando

que estadísticamente el mejor tratamiento es T6 (40% de glucosa líquida, 10% de aceite de orégano, 10% de gelatina, 40% celulosa microcristalina) por poseer las mejores características mecánicas, fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

- Estudiar la obtención de la celulosa microcristalina a partir del bagazo de caña de azúcar utilizando tratamientos físicos o enzimáticos para optimizar su rendimiento.
- A la matriz de la película incorporar un conservante natural para mantener la estabilidad del producto durante su almacenamiento y lograr preservar las propiedades mecánicas (tensión máxima y elongación de ruptura), de barrera, solubilidad y color de la envoltura.
- Realizar el secado de las envolturas en estufa con la finalidad de disminuir el tiempo del proceso y optimizar recursos, para lo cual, se recomienda utilizar temperaturas de 30°C a 35°C y tomar en cuenta el flujo de aire del sistema para evitar la dispersión de la solución en los moldes.
- Realizar pruebas de degradabilidad a las envolturas para evaluar el cambio que se produce en condiciones ambientales.
- Plantear un estudio del tiempo de vida útil y condiciones de almacenamiento adecuadas de las envolturas comestibles, con el fin de establecer parámetros para su durabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, M. (2006). *Estudio de las propiedades y biodegradabilidad de plásticos (cast-films) elaborados a partir de cáscara de naranja, pectina y PVOH*. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza-México.
- Arredondo, F. *Estudio de materiales*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid 1972.
- Barreto, C. (2011). *Visión general de la nanotecnología y sus posibilidades en la industria de alimentos*. Colombia: Rciteia
- Barros, C. (2009). *Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso*. España: Editorial Visión Libros
- Barzaga P., Vega R., Tillan J., De la Paz N., Carrillo C., & Guerra I. (2004). *Actividad antiulcerosa y toxicidad aguda oral de celulosa microcristalina suspensión al 12 %*. En Revista Cubana de Farmacia 38 (2), 1-1.
- Boatella Riera, J. (2004). *Química y bioquímica de los alimentos II*. Edicions Universitat : Barcelona.
- Bourtoom T. (2008). *Edible films and coatings*. En International Food Research Journal. 15 (3). 1-8.
- Carchi, D. (2014). *Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa*. Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador
- Callister, W. D. (2002). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona: Reverté.

Casariego, A., Díaz, R., & Sergrañes, Y. (2009). *Modelación de las propiedades mecánicas de películas de quitosana*. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Cuba: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria.

Castells, X. (2012). *Reciclaje de residuos industriales*. España: Ediciones Díaz de Santos

Domínguez C. y Jiménez M. (2012). *Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones*. En *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 6(2), 110 – 121.

Demuner M. y Guzmán I. (2004). *Envases, empaques y embalajes alimentarios*. En *Revista de Divulgación Científica y Tecnología de la Universidad de Veracruz*. 17(2), 6.

Ege, S. (1998). *Química orgánica: estructura y reactividad*. España: Reverté

Ferrer, A. (2013). *Aprovechamiento integral del residuo de la industria del aceite de palma (EFB). Obtención de derivados de las hemicelulosas, pastas celulósicas y celulosa nanofibrilar*. Universidad de Córdoba. Córdoba-España.

FMC BioPolymer (2015). Recuperado el 10 de Agosto del 2015 de FMC Corporation:
<http://www.fmcbiopolymer.com/Food/Ingredients/CelluloseGel/Introduction.aspx&prev=search>

García, M. (2008). *Películas y cubiertas de quitosana en la conservación de vegetales*. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Cuba: D - Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria

García, M., Pinotti, A., Martino, A., & Zaritzky, N. (2009). *Characterization of starch and composite edible films and coatings*. En Embuscado, M. y Huber, K. (Ed.). *Edible films and coatings for food applications*, 169-210.

Gontard N, Guilbert S, Cuq JL (1992). *Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology*. Journal of Food Sci, 190-195.

González Álvarez, D. (2013). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos*. Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia-Colombia.

Hachi, J., & Rodríguez, J. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalano (PET), en la ciudad de Guayaquil*. Univerisidad Politécnica Nacional. Guayaquil-Ecuador.

Morales, E. (2014). *Caracterización de películas, elaboradas a partir de harina de quinua (Chenopodium Quinoa, Willd), almidón modificado de yuca (Manihot Esculenta) y Montmorillonita*. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador.

Morcillo Ortega, G., Cortés Rubio, E., & García López, J. L. (2013). *Bioteología y alimentación*. España: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Muller, P. y Riel, R. (1990). *Tecnologías de América del Norte para el procesamiento de alimentos*. Venezuela: IICA Biblioteca

Muñoz, J. (2014). *Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Muñoz , M. A. (2012). *Bioteología* . Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes.

Pastor, C. (2010). *Recubrimientos Comestibles a base de Hidroxipropil Metilcelulosa: Caracterización y Aplicación Caracterización*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia – España.

Parzanese, M. (2010). Películas y recubrimientos comestibles. En *tecnologías para la industria alimentaria*. Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Prinsen, P. (2010). *Composición química de diversos materiales*. Sevilla: Universidad de Sevilla .

Red Española de Compostaje. (2015). *Residuos orgánicos y agricultura intensiva III*. España: Ediciones Paraninfo S.A.

Rivas, A. (2013). *Química y Tecnología de Macromoléculas. Escuela de Ingenierías Industriales*. Valladolid-España.

Rojas, I. (2010). *Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína*. Universidad Pública de Navarra. Pamplona – España.

Rojas, J., Lopez, A., Guisao, S., & Ortiz, C. (2011). *Evaluación de celulosas microcristalinas obtenidas de varios subproductos agrícolas*. Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research, 144-150.

Rubin, E. M. (2008). *Genomics of cellulose*. Nature 4, 841-845.

Ruilova Cueva, M. B., & Hernández Monzón, A. (2014). *Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo Pleurotus ostreatus*. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar , 54-59.

Saval, S. (2012). *Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro*. Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C., 15-17.

SUMINISTROS. (2010). *Aditivos e ingredientes: celulosa microcristalina, o simplemente CMC*. SUMINISTROS revista, 62-69.

Sharapin, N. (2000). *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. Colombia: Impreandes.

Ulloa, J. (2007). *Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos*. México: Taller de Artes Gráficas.

Van Soest, P.J. (1994). *Animal Food science and Thecnology*, 347-358.

Ventosa, M. (2010). *Empleo de coberturas a partir de polímeros naturales como método de envasado activo de hortalizas*. Cuba: D - Universidad de La Habana. Facultad de Farmacia y Alimentos.

Vigilante, A. (2009). *Trabajo de campo: polímeros*. Buenos Aires : El Cid Editor .

Viloria et al., P. (2014). *Obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del cambur (Musa sapientum)*. Revista Iberoamericana de Polímeros, 283-300.

Villamán M. (2007). *Elaboración y caracterización de films comestibles basadas en mezclas entre proteínas de quínoa y quitosano*. Universidad de Chile. Santiago-Chile.

Zaritzky, N. (2009). *Películas biodegradables y recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides: caracterización y aplicaciones*. Argentina: Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA).

Zugenmaier, P. (2008). *Crystalline Cellulose and derivatives*. Berlin: Springer-Verlag.

ANEXOS

Anexo I: Determinación porcentual de celulosa (P.J. Van Soest, 1994)

Se tomó un gramo de muestra seca y se colocó en un matraz, al que se le añadieron 15ml de ácido acético al 80% y 15ml de ácido nítrico concentrado. La solución se llevó a reflujo por 20 minutos. La muestra fue filtrada y el residuo se lavó con etanol; posteriormente, se secó en un horno a 100-105°C y se pesó (material A). El residuo obtenido se incineró a 540°C (material B) para luego enfriarlo a temperatura ambiente en un desecador y pesarlo.

La determinación del porcentaje de celulosa se calculó mediante la ecuación:

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(\text{material A}) - (\text{material B})}{\text{Peso de la muestra utilizada}} * 100$$

Anexo II: Contenido de alfa celulosa (NORMA TAPPI T 203 m-58)

Se pesan 3 g d pulpa seca a la estufa y se coloca en un vaso de precipitado. Se agregan 35 ml de una solución de hidróxido de sodio al 17,5% en peso, mientras se agita con un agitador de vidrio. En los 10 minutos siguientes se adicionan 4 porciones de la solución, con el mismo procedimiento de agitación. Posteriormente se deja reposar la mezcla 20 °C por 30 minutos. Luego se añaden 100 ml de agua destilada a 20 °C y se agita por 30 minutos más.

El contenido dl vaso se filtra por succión en un crisol Gooch, pasando el filtrado en varias ocasiones hasta asegurar que no existan finos en suspensión. El residuo se lava por succión con 750 ml de agua destilada a 20 °C y luego con 40 ml de ácido acético al 10% a 20 °C, por 5 minutos. Por último se elimina el ácido con 750 ml de agua destilada. El crisol filtrante se seca en la estufa a 105° C hasta peso constante. Los resultados se calculan como porcentaje sobre pulpa seca a la estufa.

La ecuación siguiente se utiliza para obtener el contenido de alfa celulosa de las pulpas:

$$\text{Contenido de celulosa (\%)} = \frac{W_2}{W_1} * 100$$

Donde:

W₁: Peso de la pulpa seca a la estufa, en gramos.

W₂: Peso del residuo de la extracción seco a la estufa, en gramos.

Anexo III: Contenido de lignina (NORMA TAPPI T 13 os-54)

Para la determinación del contenido de lignina se sometió a extracción soxhlet a 1 g de muestra seca, con tamaño de partícula entre 0,40 y 0,25 mm, con etanol al 95% por 4 h y luego con solvente etanol: benceno en relación 1:2. Se añadieron 50ml de etanol. Se puso a hervir la mezcla con 400 ml de agua por 3 h. Se filtró la muestra y se dejó secar. Se añadieron 15 ml de H₂SO₄ al 72% y se dejó con agitación por 2 h a temperatura de 18 a 20 °C. Luego se diluyó la concentración del ácido al 3 %, al añadir agua, y se dejó la mezcla en destilación con reflujo, por 4 h. la lignina constituyo el residuo presente, se lavó con 500ml de agua caliente, se secó a 105 °C, por 1 h, se enfrió en un desecador y se pesó.

La ecuación siguiente se utiliza para obtener el contenido de lignina de la muestra:

$$\text{Contenido de lignina (\%)} = \frac{W_2}{W_1} * 100$$

Donde:

W₁: Peso de la muestra seca al aire, en gramos

W₂: Peso del residuo de la extracción seco a la estufa, en gramos

Anexo IV: Determinación del grado de transmisión de vapor de Agua (TVA)

Los vasos se llenaron con agua destilada hasta alcanzar una distancia de 6 mm medidos desde el borde superior, sobre el cual se montó el film. Finalmente se sellaron con silicona los bordes de contacto entre el film y el vaso.

Los vasos se colocaron en una incubadora con humedad y temperatura controladas ($58 \pm 2\%$ HR; $22 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$) y cada 24 horas y por un periodo de 19 días se registró su cambio de peso utilizando una balanza electrónica de precisión. También se registraron diariamente las condiciones de la sala de ensayo mediante la información entregada por un higrómetro y un termómetro.

Para el cálculo del TVA se graficó el cambio de masa de las copas en función del tiempo transcurrido. La pendiente de la porción lineal de este gráfico que mejor se ajustó a una recta (coeficiente de regresión, r^2 , cercano a 1) representó la estabilización de la difusión de vapor de agua a través de los films por unidad de tiempo (g/h), que luego se normalizó por el área de los films utilizados. El valor obtenido es el TVA de los films ensayados, que se expresó entonces como los gramos de agua evaporados por hora y por unidad de área del film. Para el cálculo del grado de transmisión de vapor de Agua se utiliza la siguiente ecuación:

$$TVA = \frac{\Delta m}{t \times A}$$

Donde:

TVA: grado de transmisión de vapor de Agua, en $\text{gm}^{-2} \text{h}^{-1}$

Δm : Cambio de masa ocurrido en el tiempo, en g

t: Tiempo entre lecturas, en h

A: Área de ensayo de la muestra, en m^2

ASTM D1653-93: Determinacion de la transmision de vapor de agua en peliculas de recubrimiento organico



Designation: D 1653 – 03

Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films¹

This standard is issued under the fixed designation D 1653; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the rate at which water vapor passes through films of paint, varnish, lacquer, and other organic coatings. The films may be free films or they may be applied to porous substrates.

1.2 Two test methods are covered as follows:

1.2.1 *Test Method A*—Dry Cup Method, and

1.2.2 *Test Method B*—Wet Cup Method.

1.2.3 Agreement should not be expected between results obtained by different methods or test conditions. The method that most closely approaches the conditions of use should be selected.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be designated as the standard. Factors for conversion are stated in 13.2.1.2 and 13.2.2.2.

1.4 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 823 Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels²

D 1005 Test Method for Measurement of Dry-Film Thickness of Organic Coatings Using Micrometers²

D 1193 Specification for Reagent Water³

D 4708 Practice for Preparation of Free Films of Organic Coatings²

E 104 Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions⁴

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *water vapor transmission rate, WVT*—the steady water vapor flow in unit time through unit area of a body, between two specific parallel surfaces, under specific conditions of temperature and humidity at each surface. Accepted inch-pound unit is grains per square foot per hour. Accepted SI unit is grams per square metre per 24 h.

3.1.2 *water vapor permeance, WVP*—the steady water vapor flow in unit time through unit area of a body (WVT) induced by unit vapor pressure difference (Δp) between the two surfaces of a coating. Therefore, $WVP = WVT/\Delta p$. Accepted inch-pound unit is grains per square foot per hour per inch of mercury (called a perm). Accepted SI unit is grams per square metre per 24 h per millimetre of mercury (called a metric perm).

4. Summary of Test Methods

4.1 In Test Method A (Dry Cup Method), the test specimen is sealed to the open mouth of a cup or dish containing desiccant, and the assembly placed in a test chamber with a controlled atmosphere. Two sets of exposure conditions are acceptable for this test method.

4.1.1 *Condition A*, consisting of 50 % relative humidity at 73°F (23°C), and

4.1.2 *Condition B*, consisting of 90 % relative humidity at 100°F (38°C).

4.2 In Test Method B (Wet Cup Method), the test specimen is sealed to the open mouth of a cup or dish containing water, and the assembly placed in a test chamber with a controlled atmosphere. Two sets of exposure conditions are acceptable for this test method:

4.2.1 *Condition A*, consisting of 50 % relative humidity at 73°F (23°C), and

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D01 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and are the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved July 10, 2003. Published August 2003. Originally approved in 1959. Last previous edition approved in 1999 as D 1653 - 99¹.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.03.

4.2.2 *Condition C*, consisting of very low (near zero) relative humidity at 73°F (23°C).

4.3 In both methods, periodic weighings of the cup or dish are made to determine the rate of water vapor movement through the specimen.

5. Significance and Use

5.1 One of the factors affecting the performance provided by an organic coating is its capability of resisting or aiding the passage of water vapor. In some services, for example, exterior wood and masonry, the coating has to allow moderate amounts of water vapor to pass through the film without damage to it. Hence, the water vapor transmission characteristics of coatings are important in assessing their performance in practical use.

5.2 The purpose of these test methods is to obtain values of water vapor transfer through coatings that range in permeability from high to low. These values are for use in design, manufacture, and marketing.

5.3 The water vapor transmission is not a linear function of film thickness, temperature or relative humidity.

5.4 Values of water vapor transmission rate (WVT) and water vapor permeance (WVP) can be used in the relative rating of coatings only if the coatings are tested under the same closely controlled conditions of temperature and relative humidity, and if their thicknesses are equal.

5.5 *Test Method A*—The Dry Cup Method is the preferred test method for obtaining values that relate to conventional dwellings where high relative humidities are not anticipated.

5.6 *Test Method B*—The Wet Cup Method is the preferred test method for obtaining values that relate to applications where high relative humidities are anticipated in the vicinity of the barrier material. In general, the more permeable a coating is to the passage of moisture as is typical of many water-reducible coatings, the greater its affinity for water and the greater the increase in transmission when tested in and exposed to high humidities. Absorption of water may make a coating less dense, thus allowing moisture to diffuse easily and cause a much higher moisture vapor transmission rate (WVTR) than would occur in drier environments.

6. Apparatus

6.1 *Perm Cup or Dish*, consisting of a container made of a noncorroding material, impermeable to water or water vapor. If the cup or dish is made of aluminum, it must be anodized or given a protective clear coating to prevent corrosion.

6.1.1 One type of cup that is suitable has a flanged edge and is equipped with a separate corresponding flange, so that the test specimen can be held between them. The contacting faces of the flanges shall be ground to such flatness that when the film is in position, moisture transfer can occur only through the exposed film area. For hard films, or films having a very rough surface, a soft rubber gasket may be inserted between the film and the flange. The flanges shall then be held together with suitable clamps.

6.1.2 Another suitable cup is any open circular or rectangular dish to which the test film can be sealed with wax or sealant.

6.2 *Test Chamber*, with a controlled temperature and relative humidity as specified in Section 4. Air shall be circulated throughout the chamber to maintain uniform conditions at all

test locations. For low or high humidity conditions, a standard desiccator or other suitable cabinet may be used. For maintaining constant relative humidity by means of aqueous solutions, refer to procedures outlined in Practice E 104.

6.3 *Analytical Balance*, having an adequate capacity for the weight of the test cups and a sensitivity of 1 mg.

7. Reagents and Materials

7.1 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, reference to water shall be understood to mean reagent water conforming to Type IV of Specification D 1193.

7.2 *Desiccant*, consisting of either anhydrous calcium chloride (CaCl_2) or anhydrous magnesium perchlorate ($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$). The calcium chloride should be dried at 400°F (200°C) before use. If calcium chloride will react with the test specimen, an adsorbing desiccant such as a silica gel may be used but the moisture gain by this desiccant during the test must be limited to 4 %. Use caution in handling magnesium perchlorate because of possible chemical reaction that may be produced if it comes in contact with some organic materials and is subsequently heated to regenerate the anhydrous salt.

7.3 *Sealant*, such as wax for attaching the test specimen to the top of the perm cup or dish. It must be highly resistant to the passage of water vapor. It must not lose weight to, or gain weight from, the atmosphere in an amount, over the required period of time, that would affect the test results by more than 2 %. It must not affect the vapor pressure in a water-filled dish.

NOTE 1—Among acceptable sealants are (1) a 60:40 mixture of microcrystalline wax and refined crystalline paraffin wax, (2) tissue embedding wax, and (3) a 50:50 mixture of beeswax and rosin.

7.4 *Release Paper*, prepare free films, whenever possible to eliminate the potential interference of substrates, on release paper⁵ or glass substrates following procedures outlined in Practice D 4708.

7.5 *Film Support*, for preparing films that are too brittle or otherwise unsatisfactory for handling as free films. Support materials such as paper charts,⁶ filter paper, and glass cloth have been found satisfactory in some instances. Such support can have an effect on the test results.

8. Test Specimens

8.1 It is very important that the test specimens be smooth, and completely continuous films of uniform thickness throughout the test area. Apply air drying coatings to substrates using one of the methods described in Practices D 823 or D 4708.

NOTE 2—Special test conditions may require that the coating be applied by brushing, roller coating or other special methods. The thickness of the

⁵ The sole source of supply of release Paper, Form RP-1K, known to the committee at this time is the Leneta Co., 15 Whitney Rd., Mahwah, NJ 07430. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

⁶ The sole source of supply of paper charts, Form NWK, known to the committee at this time is the Leneta Co., 15 Whitney Rd., Mahwah, NJ 07430. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

coating applied shall be within normal range for the type of material under test, and shall not vary by more than 5 % of the total thickness in any test series.

NOTE 3—When applying baking finishes, bake for specified time and temperature in accordance with manufacturers' instructions. Permeance may vary with the baking schedule or the time of air drying.

8.2 Air dry the coated material in a horizontal position for 7 days in a room preferably maintained at $73.5 \pm 3.5^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity. If the material is to be tested as a free film, remove it from the substrate and allow the previously unexposed surface to dry for an additional 7 days. The drying schedule may be modified as recommended by manufacturer.

NOTE 4—Examine test films for the presence of pinholes or other defects before commencing the test. It may be advisable to apply the test material in two coats, applying the second coat perpendicular to the first coat and allowing for an adequate drying period between coats to achieve the desired film thickness.

8.3 Measure the thickness of the test specimen in several places with a micrometer using procedures in Test Method D 1005 to ensure a uniform thickness.

8.4 When coatings are applied to support materials, the coated side of the test specimen should be placed away from the desiccant or towards the water in the cup, depending upon the service environment. Coatings should not be applied to both sides of a support. Glass cloth is preferred for coatings that are cured by baking.

TEST METHOD A—DRY CUP METHOD

9. Test Conditions

9.1 Unless other conditions are agreed upon between the purchaser and the seller, the tests shall be performed under one or more of the following conditions:

9.1.1 *Condition A*—Test chamber or cabinet maintained at $73^\circ \pm 1^\circ\text{F}$ ($23 \pm 0.6^\circ\text{C}$) and $50 \pm 2\%$ relative humidity.

9.1.2 *Condition B*—Test chamber or desiccator maintained at $100 \pm 1^\circ\text{F}$ ($38 \pm 0.6^\circ\text{C}$) and $90 \pm 2\%$ relative humidity.

10. Procedure

10.1 Prepare at least three perm cups or dishes for each test material as follows:

10.1.1 Fill the cups with desiccant to within $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) of the top edge.

10.1.2 If the cups are equipped with flanges, place the test specimen between the flanges and adjust the clamps to hold it firmly in position.

10.1.3 If the cups are not equipped with flanges, seal the test specimen to the top edge of the cups with wax as follows:

10.1.3.1 First carefully place the test specimen, cut to the size of the frame, on a thin cardboard ring soaked in molten wax.

10.1.3.2 Then place the specimen-covered frame over the mouth of the cup. Thoroughly seal the frame to the edge of the cup at the temperature to be used in the test. If the coating is on a substrate or support, place the coated side away from the desiccant in the cup.

NOTE 5—Imperfections in the film that are not readily visible may produce inconsistent results; consequently make sure that the test is

always run at least in triplicate.

10.2 Weigh the loaded cups to 1 mg and if a test chamber is not being used, place them in the test cabinets or desiccators. Record time, temperature, and relative humidity.

10.3 Remove if necessary, the cups for periodic weighing to determine weight gain. Coatings expected to have high WVT ratings, over 10 perms, may require weighings more frequently than once a day.

10.4 In general, weigh the cups every 24 h for a period of 3 weeks, or until the weight change versus time becomes constant. Record the time that weighings are taken to the precision of approximately 1 % of the time span between weighings. Thus, if weighings are made every day, a time to the nearest 15 minutes would be allowed.

10.5 Shake cups containing desiccant everyday to prevent surface saturation of the material. If moisture absorbed by the desiccant exceeds 20 % of the desiccant weight, discontinue the test.

10.6 Return the cups to the test chamber immediately after weighing.

TEST METHOD B—WET CUP METHOD

11. Test Conditions

11.1 Unless other conditions are agreed upon between the purchaser and the seller, perform the test(s) under one or more of the following conditions:

11.1.1 *Condition A*—Test chamber or cabinet maintained at $73 \pm 1^\circ\text{F}$ ($23 \pm 0.6^\circ\text{C}$) and $50 \pm 2\%$ relative humidity.

11.1.2 *Condition C*—Test chamber or desiccator maintained at $73 \pm 1^\circ\text{F}$ and very low (near zero) relative humidity.

12. Procedure

12.1 Prepare at least three cups for each test material as follows:

12.1.1 Fill the cups with water to within $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) of the top edge.

12.1.2 If the cups are equipped with flanges, place the test specimen over the opening of the cups between the flanges and adjust the clamps to hold them firmly in position. If the coating is on a substrate or support, place the coated side towards the water in the cups.

12.1.3 If the cups are not equipped with flanges, seal the test specimens to the top edge of the cups with wax in accordance with procedures in 10.1.3.1 and 10.1.3.2. If the coating is on a substrate or support, place the coated side towards the water in the cup.

12.2 Weigh the loaded cups to 1 mg and place them in the test chamber. Record time, temperature and relative humidity. Follow procedures outlined in 10.5 and 10.6.

12.3 Return the cups to the test chamber immediately after weighings.

13. Calculations

13.1 For each material tested, plot the weight change against elapsed time. When a straight line adequately fits the plot of at least four properly spaced points, a nominally steady state exists and the slope of the straight line is the rate of water vapor transmission.

13.2 Calculate one or more of the following, depending on the water vapor transmission characteristics to be determined:

13.2.1 Calculate the water vapor transmission rate, WVT:

13.2.1.1 In inch-pound units as follows:

$$WVT = (Gt)/A = \text{grains per ft}^2 \text{ per 1 h} \quad (1)$$

where:

G = weight change, grains (from the straight line),

t = time during which G occurred, h, and

A = test area, ft²,

1 g = 15.43 grains.

13.2.1.2 In metric units as follows:

$$WVT = (Gt)/A = \text{grams per m}^2 \text{ per 24 h} \quad (2)$$

where:

G = weight change, g (from the straight line),

t = time during which G occurred, h, and

A = test area, m².

13.2.2 Calculate the permeance, WVP:

13.2.2.1 In inch-pound units as follows:

$$WVP = WVT/\Delta p \quad (3)$$

$$= \text{grains per ft}^2 \text{ per 1 h per in. of mercury (perms)}$$

where:

Δp = $S(R_1 - R_2)$,

S = in. Hg (saturation vapor pressure at test temperature), (see Table 1),

R_1 = relative humidity (as a decimal) at vapor source, and

R_2 = relative humidity (as a decimal) at vapor sink.

13.2.2.2 In metric units as follows:

$$WVP = WVT/\Delta p \quad (4)$$

= grams per m² per 24 h per millimetre of mercury, (metric perms)

where:

Δp = $S(R_1 - R_2)$,

S = mm Hg (saturation vapor pressure at test temperature), (see Table 1),

R_1 = relative humidity (as a decimal) at vapor source, and

R_2 = relative humidity (as a decimal) at vapor sink.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Method of coating application and curing procedure used.

14.1.2 Mean film thickness of the test specimens for each material.

14.1.3 Type of film support used, if any.

14.1.4 Method used (Test Method A (Dry Cup) or Test Method B (Wet Cup)).

14.1.5 Test temperature and relative humidity in the test chamber.

14.1.6 Computed rate of water vapor transmission (WVT), either in inch-pound or in metric units.

14.1.7 The computed permeance in terms of both perms and metric units.

15. Precision and Bias ⁷

15.1 In an interlaboratory study of these test methods in which one operator in each of three laboratories determined in triplicate the permeance of three coatings covering the range of interest for vapor barrier coatings, the interlaboratory standard deviation for the dry-cup procedure was found to be 0.073 perms with 6 df and the interlaboratory wet-cup coefficient of variation 21.54 % relative with 6 df, with no results having been discarded. Based upon these values, the following criteria should be used for judging, at the 95 % confidence level, the acceptability of results:

15.1.1 *Repeatability:*

15.1.1.1 *Test Method A*—Two results, each the mean of triplicate runs, obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 0.25 perms at dry-cup permeance of less than 1.0 perms.

15.1.1.2 *Test Method B*—Two results, each the mean of triplicate runs, obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 74.2 % relative at wet-cup permeances of 5 to 30 perms.

15.1.2 *Reproducibility*—Intralaboratory precision is normally better than interlaboratory precision. However, one participant in this exchange has noted relatively large differences when the same coating was tested in quadruplicate with fairly long intervals between tests.

15.2 Bias is not applicable to these test methods.

16. Keywords

16.1 permeance; perms; water vapor permeance; water vapor transmission

⁷ Supporting data are available from ASTM International Headquarters. Request RR:D1 – 1064.

TABLE 1 Saturation Vapor Pressure

Temperature		Pressure	
°F	°C	in. Hg	mm Hg
72.3	22.4	0.800	20.316
72.5	22.5	0.805	20.440
72.7	22.6	0.810	20.565
72.9	22.7	0.816	20.690
73.1	22.8	0.819	20.815
73.3	22.9	0.824	20.941
73.4	23.0	0.829	21.068
73.6	23.1	0.834	21.196
73.8	23.2	0.840	21.324
74.0	23.3	0.845	21.453
74.2	23.4	0.850	21.583
74.4	23.5	0.855	21.714
74.5	23.6	0.860	21.845
99.3	37.4	1.894	48.102
99.5	37.5	1.904	48.364
99.7	37.6	1.914	48.627
99.9	37.7	1.925	48.891
100.1	37.8	1.935	49.157
100.2	37.9	1.946	49.424
100.4	38.0	1.956	49.692
100.6	38.1	1.967	49.961
100.8	38.2	1.978	50.231
101.0	38.3	1.988	50.502
101.1	38.4	1.999	50.774
101.3	38.5	2.010	51.048
101.5	38.6	2.021	51.323



D 1653 – 03

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo V: Calculo de la solubilidad en agua (Gontard et al, 1994)

Se cortaron seis discos de 2 cm de diámetro de diferentes películas de la misma formulación, se pesaron y se colocaron en vasos de precipitación con 50 mL de agua destilada, a temperatura ambiente (18,5°C), durante un período de 24 h y sin agitación. Después se filtró para recuperar el material no soluble y se secó. El peso seco inicial y final de las muestras se obtuvo después de secar en una estufa a 105°C durante 24 h. El cálculo de la solubilidad en agua (%) se utilizó la siguiente formula:

$$Solubilidad = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

Pi: peso seco inicial de la muestra (g)

Pf: peso seco final de la muestra (g)

Anexo VI: Diferencias de color usando Coordenadas CIE L*a*b*

Definido por el Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), el espacio de color L*a*b* fue originado a raíz de una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo, o amarillo y azul a la vez. Como se muestra a continuación, L* indica luminosidad, a* es la coordenada roja/verde, y b* es la coordenada amarillo/azul. Deltas por L* (ΔL^*) y b* (Δb^*) pueden ser positivo (+) o negativo (-). La diferencia total, Delta E (ΔE^*), sin embargo, siempre es positivo.

ΔL^* (muestra L* menos estándar L)=

diferencia en luminosidad u oscuridad (+=más claro, - = más oscuro)

Δa^* (muestra a* menos estándar a)=

diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde=)

Δb^* (muestra b* menos estándar b)=

diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul)

ΔE = diferencia de color total

Para determinar la diferencia de color total entre las tres coordenadas se usa la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2}$$

ΔE : diferencia total de color

ΔL^* : factor de luminosidad de las películas sobre el paño negro

a* y b*: coordenadas de cromaticidad de las películas

L: factor de luminosidad del paño negro

a y b: coordenadas de cromaticidad del paño negro

Anexo VII: Hoja de encuesta para la evaluación sensorial de las envolturas comestibles a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**HOJA DE ENCUESTA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE
ENVOLTURAS COMESTIBLES**

INTRODUCCIÓN

El presente instructivo está orientado a evaluar las características organolépticas del producto terminado.

INSTRUCCIONES PARA EL CATADOR

Señor degustador, para realizar la degustación del producto tómese el tiempo necesario y analice detenidamente cada una de las características que se detallan a continuación. Marque con una X los caracteres que usted crea correctos.

CARACTERÍSTICAS A EVALUARSE

- **Color:** se evalúa de acuerdo a la impresión visual del degustador. Las envolturas, se caracterizan por tener un color claro y casi transparente.
- **Aspecto:** conjunto de caracteres percibidos por la vista y tacto; para lo cual, se toma en cuenta la limpieza, uniformidad y el grado de aspereza de la superficie de la muestra.
- **Olor:** Deben poseer un olor suave, sin que sean desagradables ni extraños.
- **Sabor:** agradable y ligeramente dulce.
- **Solubilidad en la boca:** se refiere a la facilidad para disolverse la muestra en la saliva.

- **Aceptabilidad:** En esta característica actuará el criterio propio de cada catador, se recomienda tomar en cuenta las características evaluadas anteriormente.

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVAS	MUESTRA				
		601	908	507	110	100
COLOR	Excelente					
	Muy bueno					
	Bueno					
	Regular					
	Malo					
ASPECTO	Excelente					
	Muy bueno					
	Bueno					
	Regular					
	Malo					
OLOR	Excelente					
	Muy bueno					
	Bueno					
	Regular					
	Malo					
SABOR	Excelente					
	Muy bueno					
	Bueno					
	Regular					
	Excelente					
SOLUBILIDAD EN LA BOCA	Excelente					
	Muy bueno					
	Bueno					
	Regular					
	Malo					
ACEPTABILIDAD	Excelente					
	Muy bueno					
	Bueno					
	Regular					
	Malo					

OBSERVACIONES:.....

Anexo VIII: Análisis fisicoquímico de la celulosa microcristalina obtenida del gabazo de caña de azúcar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.
Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	032 - 2016
Análisis solicitado por:	Srta. Vanessa Bastidas
Empresa:	No aplica
Muestreado:	No aplica
Fecha de recepción:	23 de febrero de 2016
Fecha de entrega informe:	24 de febrero de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Celulosa microcristalina
No. de Lote	1 de enero de 1900

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Metodo de ensayo
Contenido de agua	%	6,10	AOAC 925.10
Cenizas	%	3,92	AOAC 923.03
Lignina	%	8,20	TAPPI T 13 os-54

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

BIG. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711.
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

Anexo IX: Análisis microbiológico de los 5 mejores tratamientos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.

Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	020 - 2016
Análisis solicitado por:	Srta. Vanessa Bastidas
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	04 de febrero de 2016
Fecha de entrega informe:	10 de febrero de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Láminas celulosa
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	5

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado					Metodo de ensayo
		T5	T6	T9	T10	T11	
Recuento Estándar en placa	UFC/g	30	130	320	150	200	AOAC 989.10
Recuento de Mohos	UFC/g	550	410	1200	560	750	AOAC 997.02
Recuento de Levaduras	UFC/g	630	800	780	400	820	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova Barrio El Olivo
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

**Anexo X: Calificaciones la evaluación sensorial de las envolturas comestibles
a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar**

Rangos tabulados para la variable color

Panelistas	T6	T9	T5	T11	T10	SUMA
1	1,5	5	1,5	3,5	3,5	15
2	3,5	3,5	3,5	1	3,5	15
3	4,5	2	2	2	4,5	15
4	1,5	4	1,5	4	4	15
5	2,5	2,5	5	2,5	2,5	15
6	5	2,5	2,5	2,5	2,5	15
7	2	4,5	2	2	4,5	15
8	2,5	4,5	2,5	1	4,5	15
9	4,5	2,5	4,5	1	2,5	15
10	5	3,5	2	3,5	1	15
11	3	4,5	1,5	1,5	4,5	15
12	4,5	3	1,5	4,5	1,5	15
13	4	1,5	4	4	1,5	15
14	4	4	1,5	1,5	4	15
15	4,5	4,5	1	2,5	2,5	15
ΣX	52,50	52,00	36,50	37,00	47,00	
MEDIAS	3,50	3,47	2,43	2,47	3,13	

VARIABLE	VALOR CALCULADO χ^2		VALOR TABULAR 5%	VALOR TABULAR 1%	TRATAMIENTOS
Color	6,55	*	0,71	13,27	T6 T9 T10

Rangos tabulados para la variable aspecto

Panelistas	T6	T9	T5	T11	T10	SUMA
1	1,5	4	1,5	4	4	15
2	3,5	3,5	3,5	1	3,5	15
3	4	1	4	2	4	15
4	3,5	5	1,5	1,5	3,5	15
5	4	1	4	2	4	15
6	5	3,5	2	3,5	1	15
7	1,5	1,5	3,5	3,5	5	15
8	2	4,5	2	2	4,5	15
9	4	4	1,5	4	1,5	15
10	3	4,5	1,5	1,5	4,5	15
11	3	4,5	1,5	1,5	4,5	15
12	2,5	2,5	2,5	5	2,5	15
13	4,5	2	2	4,5	2	15
14	4,5	4,5	1	2,5	2,5	15
15	3,5	5	1,5	1,5	3,5	15
ΣX	50,00	51,00	33,50	40,00	50,50	
MEDIAS	3,33	3,40	2,23	2,67	3,37	

VARIABLE	VALOR CALCULADO χ^2		VALOR TABULAR 5%	VALOR TABULAR 1%	TRATAMIENTOS
Aspecto	6,63	*	0,71	13,27	T9 T10 T6

Rangos tabulados para la variable olor

Panelistas	T6	T9	T5	T11	T10	SUMA
1	3	3	1	3	5	15
2	3,5	3,5	3,5	1	3,5	15
3	1	3,5	3,5	3,5	3,5	15
4	2,5	4,5	4,5	2,5	1	15
5	4	2	5	2	2	15
6	4	1,5	1,5	4	4	15
7	3	3	5	3	1	15
8	3,5	1	3,5	3,5	3,5	15
9	3	3	3	3	3	15
10	1,5	4	4	1,5	4	15
11	4	2	5	2	2	15
12	4	4	4	1,5	1,5	15
13	2	4,5	2	4,5	2	15
14	1	3,5	3,5	3,5	3,5	15
15	4,5	4,5	2,5	2,5	1	15
ΣX	44,50	47,50	51,50	41,00	40,50	
MEDIAS	2,97	3,17	3,43	2,73	2,70	

VARIABLE	VALOR CALCULADO χ^2		VALOR TABULAR 5%	VALOR TABULAR 1%	TRATAMIENTOS
Olor	2,27	*	0,71	13,27	T5 T9 T6

Rangos tabulados para la variable sabor

Panelistas	T6	T9	T5	T11	T10	SUMA
1	1,5	4	4	4	1,5	15
2	3,5	1,5	1,5	3,5	5	15
3	3	3	1	5	3	15
4	3,5	1,5	5	3,5	1,5	15
5	3	1	3	3	5	15
6	5	3	1	3	3	15
7	4	2,5	1	2,5	5	15
8	1,5	4	1,5	4	4	15
9	1	3,5	3,5	3,5	3,5	15
10	1,5	4,5	1,5	3	4,5	15
11	4	1	2,5	2,5	5	15
12	3,5	1,5	1,5	3,5	5	15
13	4	1,5	1,5	4	4	15
14	2,5	2,5	2,5	2,5	5	15
15	1,5	4	1,5	4	4	15
ΣX	43,00	39,00	32,50	51,50	59,00	
MEDIAS	2,87	2,60	2,17	3,43	3,93	

VARIABLE	VALOR CALCULADO χ^2		VALOR TABULAR 5%	VALOR TABULAR 1%	TRATAMIENTOS
Sabor	11,59	*	0,71	13,27	T10 T11 T6

Rangos tabulados para la variable solubilidad en la boca

Panelistas	T6	T9	T5	T11	T10	SUMA
1	5	2,5	2,5	2,5	2,5	15
2	2	4	2	2	5	15
3	3	1	3	5	3	15
4	1	3	3	5	3	15
5	4	1,5	4	1,5	4	15
6	5	3	1	3	3	15
7	2	2	2	4	5	15
8	1	3	3	5	3	15
9	1	4	2	4	4	15
10	2	5	2	4	2	15
11	2	3,5	1	3,5	5	15
12	3,5	1	3,5	3,5	3,5	15
13	1,5	4	1,5	4	4	15
14	1	2,5	2,5	4,5	4,5	15
15	1	4,5	2,5	2,5	4,5	15
ΣX	35,00	44,50	35,50	54,00	56,00	
MEDIAS	2,33	2,97	2,37	3,60	3,73	

VARIABLE	VALOR CALCULADO X ²		VALOR TABULAR 5%	VALOR TABULAR 1%	TRATAMIENTOS
Solubilidad en la boca	10,47	*	0,71	13,27	T10 T11 T9

Anexo XI: Análisis fisicoquímico de los 2 mejores tratamientos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.
Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	027 - 2016
Análisis solicitado por:	Srta. Vanessa Bastidas
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	04 de febrero de 2016
Fecha de entrega informe:	15 de febrero de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Láminas celulosa
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	2

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado		Metodo de ensayo
		T6	T10	
Humedad	%	11,00	25,48	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,10	0,45	AOAC 923.03
Proteína Total	%	8,41	9,5	AOAC 920.87
Fibra Bruta	%	28	26	AOAC 978.10
Extracto etéreo	%	1,95	0,34	AOAC 920.85
Carbohidratos Totales	%	78,54	64,23	Cálculo

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bióq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio




Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova Barrio El Olivo
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext. 7711.
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

Anexo XII: Ficha técnica de gelatina sin sabor GEL'HADA

	LEVAPAN COLOMBIA SAS 900.372.462-1 Carrera 106 N° 15A-25 Zona Franca Bogotá Bodega 135B			FT-PT-52																								
	FICHA TÉCNICA			N°052																								
NOMBRE DEL PRODUCTO GELAT GEL'HADA SIN SABOR48x30g																												
DESCRIPCIÓN GENERAL Producto purificado obtenido por hidrólisis ácida y / o básica del colágeno contenido en las pieles, tejido conjuntivo y huesos de los animales. Es de color amarillo crema, sabor y olor característico. INFORMACIÓN NUTRICIONAL: Porción: 1 cucharadita (7,5g) 1 sobre. Porciones por envase 1, Cantidad / Porción: Calorías 30, Grasa Total 0g (0% VD), Sodio 30mg (1% VD), Carb. Total 0g (0% VD), Proteína 7g (14% VD). No es una fuente significativa de Calorías de Grasa, Grasa Sat., Grasa Trans, Colesterol, Fibra Dietaria, Azúcares, Vitamina A, Vitamina C, Hierro y Calcio. Porcentaje de Valor Diario (VD) basado en una dieta de 2000 calorías.																												
MATERIAS PRIMAS Gelatina Pura.																												
PROCESO Recepción de materia prima, empaque, sellado, rotulado, embalaje, almacenamiento y distribución.																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ANÁLISIS</th> <th>UNIDAD</th> <th>MÍNIMO</th> <th>MÁXIMO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Apariencias</td> <td>N/A</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gramos Bloom</td> <td>g</td> <td>250</td> <td>280</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td>%</td> <td>8,00</td> <td>12,00</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>pH</td> <td>5,00</td> <td>6,00</td> </tr> <tr> <td>Rotulado-Sellado</td> <td>N/A</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					ANÁLISIS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	Apariencias	N/A			Gramos Bloom	g	250	280	Humedad	%	8,00	12,00	pH	pH	5,00	6,00	Rotulado-Sellado	N/A		
ANÁLISIS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO																									
Apariencias	N/A																											
Gramos Bloom	g	250	280																									
Humedad	%	8,00	12,00																									
pH	pH	5,00	6,00																									
Rotulado-Sellado	N/A																											
PERFIL MICROBIOLÓGICO																												
Recuento Hongos y Levaduras		ufc/g		<10																								
Recuento Aerobios Mesofilos		ufc/g		<100																								
PRESENTACIÓN PRESENTACIÓN (PESO NETO) : 30 g, Cuatro sobres en laminado metalizado en caja plegadiza. EMBALAJE : Caja de cartón Corrugado por 48 unidades.																												
ALMACENAMIENTO Y MANEJO El producto debe almacenarse en lugares limpios y secos, libres de agentes contaminantes físicos o químicos, a temperatura ambiente. Se recomienda una vez abierto mantenerlo alejado de altas temperaturas y cerrarlo herméticamente después de cada uso.																												
VIDA UTIL 12 meses en condiciones normales de almacenamiento.																												
DESCRIPCIÓN DEL LOTE Compuesto por cuatro dígitos que corresponden a la orden de producción.																												
APLICACIONES Como ingrediente para postres y en la preparación de recetas de bizcochería y pastelería.																												
LEGISLACIÓN RSIAD09M11897 Vence: 01 de Mayo de 2017.																												

Anexo XIII: Glosario de abreviaturas

Has = hectáreas.

cm = centímetros.

mm = milímetros.

g = gramos.

mg = miligramos.

GPa= gigapascal.

MPa= megapascal.

J= julio.

M= metro

% = porcentaje.

kg = kilogramos.

°C = grados centígrados.

m.s.n.m = metros sobre el nivel del mar.

l = litros.

m/s = metros por segundo.

μm = micrómetro.

N= newton

pH = potencial hidrogeno.

ml = mililitro.

$h =$ horas.

$p/p =$ peso de soluto/peso de una solución.

$p/v =$ peso sobre volumen.

NTE = Norma Técnica Ecuatoriana.

AOAC = Association of official analytical chemists

TAPPI= Testing Materials Technical Association of the Pulp and Paper Industry

L: indica luminosidad

a: coordenada roja/verde

b: coordenada amarillo/azul

$\Delta E =$ diferencia de color